

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio del Efecto de la Movilidad de Agua a diferentes
Estados de Madurez en la Deshidratación Osmótica del Banano”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Oscar Alexander Vizueta Aulla

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para culminar esta etapa en mi vida, a mis padres y hermano por su paciencia y apoyo, así como a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo en especial, a mis vocales, y a mi directora de tesis, la Msc. Fabiola Cornejo Z, cuya ayuda siempre fue de gran valor.

DEDICATORIA

A DIOS

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Jorge Abad M.
DELEGADO DEL DECANO DE LA
FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Grace Vásquez V.
VOCAL

Ing. Mirella Bermeo G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación De la Espol)

Oscar Alexander Vizueta Aulla

RESUMEN

Las frutas luego de ser cosechadas, producen diferentes cambios estructurales y de composición que afectan el comportamiento de ellas en procesos posteriores de producción tales como deshidratación y secado. En efecto, la forma como el agua interacciona con la matriz sólida del alimento varía durante la maduración de las frutas afectando procesos como los de deshidratación. En la presente tesis se analiza el efecto de los cambios físico químicos durante la poscosecha del banano en el proceso de deshidratación osmótica u osmodeshidratación.

La deshidratación osmótica hoy en día, es considerada una técnica de gran interés vinculada con propiedades de conservación, mejora de atributos sensoriales así como en la estabilidad del alimento.

La tesis esta basada en el efecto comparativo de tres estados de maduración del banano sobre la movilidad del agua. El objetivo es analizar el efecto de la unión de agua a diferentes estados de madurez sobre la transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica.

Para el desarrollo investigativo de este tema se procedió a establecer factores que pudieran estar relacionados con la velocidad de difusión molecular durante el proceso de osmodeshidratación. De tal manera, que se desarrollo una experimentación de tipo factorial donde se establecen niveles y factores que podrían influir de manera significativa sobre las pérdidas de agua y ganancia de solutos.

También se plantea la cuantificación de la disponibilidad del agua en distintos estados de madurez, con el uso de isotermas de sorción.

Por otro lado, a través de una evaluación en las características físico químicas del banano se determinara propiedades como deformación volumétrica y porosidad efectiva, aplicando diferentes presiones de vacío. Esto permitirá estudiar la influencia que esta tiene sobre la transferencia de masa durante el proceso de osmodeshidratación

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	3
1.1. Generalidades del Banano	3
1.1.1. Variedades.....	4
1.1.2. Composición Química.....	6
1.1.3. Desarrollo Fisiológico	7
1.2. Efecto del agua en los alimentos.....	12
1.2.1. Actividad de Agua.....	13
1.2.2. Disponibilidad de Agua.....	14
1.2.3. Isotermas de Sorción.....	15
1.2.4. Monocapa de BET (Brunauer – Emmett – Teller).....	21
1.3. Deshidratación en Frutas.....	22
1.3.1. Deshidratación Osmótica.....	22

1.3.2. Efecto osmotico en la permeabilidad celular.....	24
---	----

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
2.1. Características de Materias Primas.....	28
2.2. Diseño experimental en el proceso de osmodeshidratación.....	32
2.3. Metodología.....	35
2.3.1. Cinética de Deshidratación Osmótica.....	35
2.3.2. Isotermas de Sorción.....	43
2.3.3. Determinación de porosidad.....	48
2.3.4. Análisis Físico Químico.....	52

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
3.1. Evaluación físico química en los diferentes estados de maduración.....	57
3.2. Análisis de la disponibilidad de Agua en bananos a diferentes estados de maduración.....	64
3.3. Deshidratación osmótica del banano a diferentes estados de maduración.....	69
3.3.1. Cinética de transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica.....	76
3.3.2 Efecto de la porosidad en la transferencia de masa durante el proceso osmótico en cada estado de maduración.....	82

3.4. Comparación de los resultados de la movilidad de agua en los distintos estados de maduración del banano.....	83
--	----

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
-------------------------------------	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

AOAC	Association of official agricultural chemists
Atm	Atmósfera
Aw	Actividad de agua
cal	Calorías
°C	Temperatura
DSC	Differential scanning calorimeter
db	Humedad base seca
dw	Humedad base húmeda
g	Gramos
g/cm ³	Gramos por centímetros cúbicos
h	Horas
has	Hectáreas
K_W	Coeficiente de difusión del agua
K_{SG}	Coeficiente de difusión de sólidos
k	Número de factores
M	Velocidad de difusión del agua
M_0	Peso inicial de la muestra
M_t	Peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento
mg	Miligramo
mmHg	Milimetro de mercurio
NaOH	Solución de hidróxido de sodio
NMR	Nuclear resonance magnetic
QP	Químicamente pura
pH	Potencial hidrogeno
R	Constante de los gases
r	Relación de compresión aparente
t	Tiempo
μ g	Microgramo
μ m	Micrometro
V_0	Volumen inicial (cm ³)
V_f	Volumen final (cm ³)
Xv	Fracción volumétrica del líquido en la muestra
X _{w0}	Humedad inicial de la fruta

X_{Wt}
 X_{S0}
 X_{St}

Humedad de la fruta osmodeshidratada al tiempo t
Sólidos solubles iniciales en la fruta
Sólidos solubles en la muestra osmodeshidratada

SIMBOLOGÍA

γ	Deformación Volumétrica
ρ_s	Densidad de la solución osmótica
ΔM_s	Ganancia de sólidos
α	Nivel de significación
ΔM_w	Pérdida de agua
ΔM	Pérdida de peso
ϵ_e	Porosidad efectiva de la fruta
μ	Potencial químico
%	Porcentaje

INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1.1. Índice de respiración en frutas climatéricas y no climatéricas.....	9
Figura 1.2. Isoterma de sorción.....	18
Figura 1.3. Transferencia de masa durante la osmodeshidratación del Banano.....	23
Figura 1.4. Célula vegetal durante el proceso de deshidratación osmótica.....	26
Figura 2.1. Gráfico de tabla de colores para el banano.....	29
Figura 2.2. Fotografía de la deshidratación osmótica del banano.....	37
Figura 2.3. Diagrama de la deshidratación osmótica del banano	39
Figura 2.4. Método gravimétrico para la construcción de isotermas de sorción del banano en sus diferentes estados de madurez..	44
Figura 2.5. Equipo de deshidratación osmótica al vacío.....	50
Figura 2.6. Muestras homogenizadas de banano en diferentes estados de maduración.....	55
Figura 3.1. Comportamiento de la acidez durante la maduración del banano.....	58
Figura 3.2. Comportamiento del pH durante el proceso madurativo del banano.....	59
Figura 3.3. Conversión de almidón a azúcares durante la maduración del banano.....	60
Figura 3.4. Deformación volumétrica a diferentes estados de maduración.....	61
Figura 3.5. Etapas principales en la determinación de porosidad de un alimento inmerso en un líquido.....	62
Figura 3.6. Porosidades del banano en sus diferentes estados de maduración a diferentes presiones.....	63
Figura 3.7. Porosidades del banano cavendish durante su maduración.....	64
Figura 3.8. Actividades de agua del banano a diferentes estados de maduración	66
Figura 3.9. Superficie de absorción del agua sobre un material cristalino.....	66
Figura 3.10. Isoterma de absorción a diferentes estados de madurez del banano cavendish.....	67
Figura 3.11. Monocapa de BET a diferentes estados de madurez en el banano cavendish.....	69
Figura 3.12. Determinación del nivel óptimo en la interacción de factores durante la deshidratación osmótica del estado 4.....	72
Figura 3.13. Representación gráfica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 2.....	72
Figura 3.14. Representación gráfica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 4.....	73
Figura 3.15. Representación gráfica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 6.....	74
Figura 3.16. Comparación gráfica de la pérdida de peso en tres estados de maduración del banano.....	75

Figura 3.17.	Perdidas de agua a tres estados de maduración durante la osmodeshidratación del banano	77
Figura 3.18.	Ganancia de sólidos durante las osmodeshidratación del banano a diferentes estados de madurez.....	79
Figura 3.19.	Perdidas de agua a tres estados de maduración durante la osmodeshidratación del banano	84
Figura 3.20.	Isoterma de sorción a diferentes estados de madurez en la deshidratación osmótica del banano	85
Figura 3.21.	Monocapa de BET a diferentes estados de madurez del banano cavendish.....	86

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Lista de los principales, grupos, subgrupos y cultivares de banano.....	5
Tabla 2	Composición química de diferentes cultivares de banano	7
Tabla 3	Conversión de almidones a azúcares durante la maduración del banano..	11
Tabla 4	Características de las muestras de banano en tres estados de maduración.....	30
Tabla 5	Tratamientos realizados a los distintos estados de maduración durante la osmodeshidratación del banano.....	35
Tabla 6	Parámetros a evaluar durante las distintas experimentaciones de deshidratación osmótica.....	36
Tabla 7	Valores de actividades de agua de sales seleccionadas para el experimento.....	45
Tabla 8	Constantes cinéticas de transferencia de masa durante la osmodeshidratación del banano a diferentes estados de maduración.....	81

INTRODUCCIÓN

Los alimentos en su condición de seres vivos desarrollan características funcionales asociadas con su tiempo de vida.

El banano es sin duda en nuestro país uno de los principales productos comercializables y aprovechables industrialmente a través de tecnologías convencionales con el fin de su conservación y preservación. No obstante se ha venido estudiando técnicas alternativas que podrían ayudar en la sinergia de procesos tradicionales.

Una de estas nuevas técnicas es el de la osmodeshidratación basada en una remoción unifásica por diferencial osmótico con el agua del alimento asociado a parámetros, indicadores de estabilidad tal como la actividad acuosa cuya variabilidad, incide sobre la velocidad de cambios físico químicos en los alimentos.

El objetivo de esta tesis es determinar el efecto del agua durante el desarrollo fisiológico y organoléptico del banano a diferentes estados de maduración, sobre la transferencia de masa aplicando una técnica no convencional como la deshidratación osmótica, mediante un estudio inferido de la actividad y movilidad del agua, elemento importante sobre la estabilidad del alimento.

Para cumplir con este objetivo se realizarán actividades tales como:

- Elaboración de isotermas de sorción en el banano a diferentes estados de maduración, antes y después de la deshidratación osmótica.

- Determinación del valor de monocapa.
- Determinación de niveles óptimos así como de factores que influyen significativamente durante el proceso de deshidratación osmótica a través de un diseño factorial.
- Obtención de valores vinculados a la cinética de transferencia de masa de los flujos en contracorriente durante el proceso osmótico del banano.

Mediante la realización de esta investigación científica aplicada se contribuirá a conocer la influencia del agua en el banano durante el transcurso de su maduración, aplicando una tecnología no convencional, evaluando parámetros y atributos deseables en la materia prima asociados con su estabilidad comercial.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTO TEORICO

1.1. Generalidades del Banano

El banano es una fruta originaria del Asia Tropical, probablemente de la India. Se trata de una falsa baya, de forma falcada o elongada, que crece en racimos de hasta cien unidades y 50 kg de peso; de color amarillo cuando está maduro, es dulce y carnoso, rico en carbohidratos, potasio, vitamina A y vitamina C.

El banano es más rico en calorías que la mayoría de las frutas por su gran contenido en fécula. De los 125 g que pesa en promedio, el 25% es materia seca, que aporta unas 120 calorías (21).

La actividad bananera en el Ecuador, desde hace cuarenta años, ha tenido y tiene un peso importante en el desarrollo del país, tanto desde el punto de vista económico como social.

Ecuador es el primer país exportador de banano en el mundo con aproximadamente un 30% de la oferta mundial, seguidos por Costa Rica, Filipinas y Colombia, juntos abastecen más del 50% del banano consumido en el mundo.

En el Ecuador se cultivan para la exportación las variedades Cavendish, Orito y Rojo. De acuerdo a la información del Tercer Censo Nacional Agropecuario la superficie del banano es de 180.331 has, de las cuales 138.417 corresponden a las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos, que representan el 77% de toda la superficie de banano a nivel nacional.

Las principales provincias productoras de banano a nivel de superficie se distribuyen unas 50,419 hectáreas en Los Ríos, 44,646 hectáreas en el Guayas y 43,353 hectáreas en El Oro (26).

1.1.1. Variedades.

La compleja taxonomía del género incluye numerosos híbridos, de variada composición genética. El término banana es generalmente usado para definir a un gran número de especie o híbridos en el género *Musa* de la familia *Musaceae*. Casi todos los cultivares comestibles provienen de dos especies diploideas *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, las cuales son nativas del sudeste de Asia. Entre los subgrupos que más se encuentran en el Ecuador son de la variedad

Cavendish. La tabla 1 muestra el listado de los diferentes cultivares o variedades de banano.

TABLA 1

Lista de los principales, grupos, Subgrupos y cultivares de banano.

Grupos	Subgrupos	Cultivares Principales
AA	Sweet-fig	Sweet-fig, Pisang Mas, Amas Date, Bocadillo
AB	Ney Poovan	Ney Poovan, Safet Velchi
AAA	Cavendish	Dwarf Cavendish
		Giant Cavendish
		Lacatan
		Poyo (Robusta)
		Williams
		Americani
		Valery
		Arvis
	Gros Michel	Gros Michel
		Highgate
	Pink Fig	Pink Fig
		Green pink Fig
	Ibota	
AAB	Apple Fig	Apple Fig, Silk
	Pome (prata)	Pacovan
		Prata Ana
	Mysore	Mysore, Pisang Ceylan, Gorolo

Fuente: Norma del Codex Banano, 2005.

1.1.2. Composición Química.

El banano está compuesto principalmente de agua, y de hidratos de carbono. Los Carbohidratos pueden hallarse en forma de azúcares de bajo peso molecular o en la de polímeros macromoleculares. A medida que avanza su estado de maduración, el almidón se va transformando a azúcares. En lo que respecta a proteínas, este no presenta un contenido proteico significativo, generalmente se encuentra alrededor del 1% y es debido a un carácter fundamentalmente funcional. Lo mismo ocurre con los lípidos que representan menos del 1%. El banano contiene además varias vitaminas, entre ellas están las vitaminas A, B, y C. También se halla presente algunos minerales, especialmente fósforo, que es esencial para el desarrollo de los huesos, así como calcio. En la tabla 2 se presenta la composición química varía entre distintas variedades de banano (18).

TABLA 2

**Composición química de diferentes
Cultivares de banano**

Componente	Lakatan	Saba	Latundan	Cavendish
Humedad (%)	68	72.2	73.4	74.4
Energía (cal)	113	99	94	94
Proteína (g)	1.4	1.1	1.2	1.3
Lípidos (%)	0.2	0.4	0.3	0.9
Carbohidratos Totales (%)	29.6	25.5	24.4	22.7
Fibra (%)	0.8	0.6	0.5	0.3
Ceniza (%)	0.8	0.8	0.7	0.7
Calcio (mg)	21	23	17	139
Fósforo (mg)	34	36	34	20
Hierro (mg)	0.8	0.9	0.7	0.8
Beta caroteno (ucg)	360	190	15	75
Tiamina (mg)	0.03	0.06	0.02	0.04
Rivoflavina (mg)	0.05	0.06	0.02	0.04
Niacina (mg)	0.5	0.7	0.6	0.8
Acido Ascórbico (mg)	25	32	21	10

Fuente: Department of Agriculture. Region V, Filipinas, 2002.

1.1.3. Desarrollo Fisiológico.

La vida del banano así como de las demás frutas puede dividirse en 3 etapas fisiológicas, subsiguientes a la germinación: el crecimiento, la maduración y senescencia.

- ❖ El crecimiento: Involucra el proceso de división celular y el subsiguiente desarrollo de las células que dan cuenta del tamaño final alcanzado por el producto.
- ❖ La maduración fisiológica suele iniciarse antes de que termine el crecimiento e incluye diferentes actividades en los

distintos productos. Se la denomina también como la separación entre el crecimiento y la senescencia.

❖ La senescencia se define como una fase en la que los procesos bioquímicos anabólicos o también conocidos como sintéticos dan paso a los catabólicos o degradativos conduciendo al envejecimiento y muerte tisular (16).

Durante la maduración de las frutas aumenta mucho la respiración, este aumento de la respiración se llama subida climatérica y sirve para dividir a las frutas en dos grupos: las que sufren bruscamente esta subida: frutas climatéricas, y las que lo hacen lentamente y de forma atenuada: frutas no climatéricas.

Las frutas climatéricas sufren una maduración brusca y grandes cambios de color, textura y composición. Habitualmente estas frutas se recogen en estado preclimatérico, y se almacenan en condiciones controladas para que la maduración no suceda hasta que se la requiera. El banano se encuentra dentro de este grupo.

En la figura 1.1 se muestra el índice de respiración de las frutas climatéricas y no climatéricas.

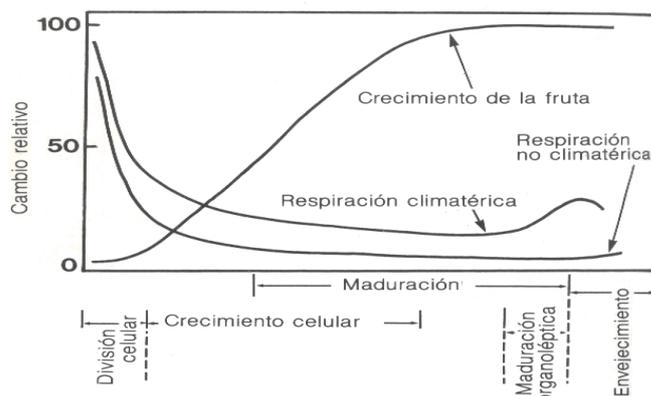


FIGURA 1.1 Índice de respiración en frutas climatéricas Y no climatéricas
Fuente: Wills R, 1999.

Cuando el banano esta en proceso de maduración, suceden a la vez varios eventos bioquímicos causados por enzimas que rompen las moléculas complejas a otras más sencillas. La permeabilidad de las paredes y membranas celulares aumenta. Las células incrementan su respiración, consumen más oxígeno y producen más dióxido de carbono (16).

Transformaciones Químicas Durante la Maduración

Las frutas climatéricas tales como el banano suelen alcanzar el estadio de plena madurez organoléptica tras haber empezado el ascenso de etileno lo cual se lo asocia con la madurez. Existen diferentes cambios entre los cuales están los relacionados al cambio de coloración, transformación de

hidratos de carbono, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados, desarrollo del aroma. El color es el cambio más notorio experimentado por el banano durante su maduración y con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si la fruta esta o no madura. El aspecto más común de estas modificaciones es la pérdida de color verde. Esta pérdida de color es consecuencia de la degradación de la clorofila; debido a los cambios de pH (principalmente como consecuencia de la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola). La desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis de color amarillo durante el crecimiento.

Por otro lado, el cambio más importante asociado a la maduración del banano es la degradación de carbohidratos poliméricos; particularmente es la casi total conversión del almidón en azúcares. (16).

En la tabla 3 se puede apreciar el cambio progresivo de almidones a azúcares conforme avanza su ciclo de maduración.

TABLA 3.
Conversión de almidones a azúcares durante la maduración del banano

Cambios de Color y Composición Química durante la Maduración del Banano Cavendish				
ESTADO	COLOR DE LA PIEL	% APROXIMDE ALMIDON	% APROX. DE AZUCAR	
1	Verde	20	0.5	Duro, rígido, no madura
Combado	Verde	19.5	1	Se comba ligeramente, comienza la maduración
2	Verde con trazas de Amarillo	18	2.5	
3	Mas verde que Amarillo	16	4.5	
4	Mas Amarillo que Verde	13	7.5	
5	Amarillo con la punta verde	7	13.5	
6	Totalmente Amarillo	2.5	18	Maduro pero textura dura
7	Amarillo con algunas rayas pardas	1.5	19	Completamente maduro, aromático
8	Amarillo con abundantes áreas pardas	1	19	Excesivamente maduro, pasado, pulpa muy blanda que se va oscureciendo, muy aromático

Fuente: Wills R, 1999.

Otro cambio producido durante la maduración es con respecto a los ácidos que son considerados como una reserva energética más de la fruta. Adicionalmente, durante la maduración se desarrolla el aroma que juega un importante en la calidad organoléptica. Esto se debe a la síntesis de numerosos compuestos orgánicos volátiles durante la fase madurativa de la fruta (16).

1.2 Efecto del Agua en los Alimentos

El agua es el elemento que se encuentra en mayor proporción como parte constitutiva en los alimentos, de manera que influye sobre características de calidad y estabilidad de los mismos. Existen muchos aspectos a considerar tales como la interacción entre el agua y componentes de los sistemas biológicos de los alimentos. Estos a su vez están compuestos de mezclas complejas de polímeros en forma acuosa. En el medio acuoso se dan prácticamente la totalidad de las reacciones químicas de deterioro. Entre los materiales poliméricos se incluyen carbohidratos, proteínas, lípidos y estos son complementados por componentes moleculares pequeños tales como azúcares, sales, aromas, conservantes. Las propiedades de estas mezclas tales como su textura, estabilidad, dependen íntimamente de las interacciones de

los componentes entre si, con las propiedades de hidratación de cada uno de ellos (15).

1.2.1. **Actividad de Agua**

La actividad de agua es la medida de la presión de vapor relativa de las moléculas de agua en el espacio de cabeza por encima del alimento, el cual está en un recipiente aislado, comparado con la presión que ejerce el agua pura a la misma temperatura.

También se lo puede precisar como un término el cual es utilizado para indicar la relación entre la humedad de un alimento y la humedad relativa de equilibrio de la atmósfera que lo rodea (8).

Hay que notar la diferencia entre la Actividad y contenido de agua. Los alimentos con la misma cantidad de agua pueden presentar diferente susceptibilidad al deterioro por lo que es tomado en cuenta otro factor como es la actividad de agua de un alimento que hace referencia a cuan disponible esta esa agua de interaccionar con otros componentes que constituyen al alimento (1).

1.2.2. Disponibilidad de Agua

El agua presente en los tejidos vegetales y animales puede estar mas o menos disponible, es decir, el agua en los alimentos no se encuentra igualmente disponible para las distintas reacciones que puedan llevarse a cabo, y así se distingue dos tipos de agua: libre y ligada (1).

El agua libre.

Se encuentra disponible para que sucedan todo tipo de reacciones, y se elimina principalmente durante los procesos de conservación.

El agua ligada

Okos et al. (1992) y Leung (1986) definieron el término agua ligada como el agua que posee una menor presión de vapor, menor movilidad y reduce el punto de congelación de modo más elevado que el agua pura.

Se encuentra más unida al alimento en interacciones con los componentes del mismo (1).

Las moléculas ligadas de agua tienen propiedades cinéticas y termodinámicas diferentes a las moléculas ordinarias de agua

La relación entre el agua y las especies contenidas en los alimentos, que se reflejan en las propiedades de absorción de los alimentos, se pueden resumir en términos de los tipos de interacciones entre ellos, del siguiente modo (Van den Berg, 1985):

Fuerzas de dispersión London- van der Waals.

Puentes de Hidrogeno.

Fuerzas de Coulomb entre agua, iones y grupos disociados.

Efectos estericos

Efectos de disolución

Cambios de movilidad de los segmentos de poliedros

Fuerzas de Capilaridad

1.2.3. Isotermas de Sorción

Una isoterma de sorción es la curva que indica, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que le rodea o, dicho de otra manera, la presión parcial de vapor ejercida por el agua del alimento, en función del contenido de agua en el mismo.

Las Isotermas de sorción se suelen elaborar para conocer la actividad de agua de cada alimento a una determinada

temperatura según su contenido en humedad. Se representa la actividad de agua de un alimento frente a su contenido acuoso. Para ello, se deshidrata un alimento y se va midiendo su actividad de agua lo que se conoce como isoterma de desorción, o bien se deshidrata un alimento y luego se va rehidratando y se mide su actividad de agua en los diferentes contenidos de humedad conocidas como isoterma de resorción o adsorción (2).

En las isotermas de sorción se pueden observar tres fases:

El agua de la monocapa se encuentra a valores de

$$A_w = 0-0,2$$

El Agua multicapa se encuentra entre valores de

$$A_w = 0,2-0,8.$$

Y los valores del agua libre están entre valores de

$$A_w = 0,8-1.$$

1.- Actividad de agua menor a 0.2

Es agua constitutiva que está fuertemente ligada en el alimento. Esta agua forma una capa monomolecular sobre solutos del alimento por lo que se le suele llamar agua monocapa. Es agua prácticamente imposible de extraer si no se destroza el alimento, no es congelable ni siquiera a

muy bajas temperaturas y no está disponible para las reacciones químicas ni como reactivo, ni como disolvente.

2.- Actividad de agua entre 0,2 y 0,8

Es agua débilmente ligada. Esta agua está interaccionando con el agua monocapa, en lugar de con los solutos, por puentes de hidrógeno. Igualmente se considera agua débilmente ligada a la que se encuentra condensada en los poros capilares de los alimentos. Esta agua no está disponible para el desarrollo de microorganismos pero sí para reacciones químicas.

3.- Actividad de agua superior a 0,8

Es agua disponible y de gran movilidad. Contiene solutos de bajo peso molecular. Tiene propiedades de solvente similares al agua pura. Fácil de congelar. Esta agua se puede intercambiar con el agua multicapa.

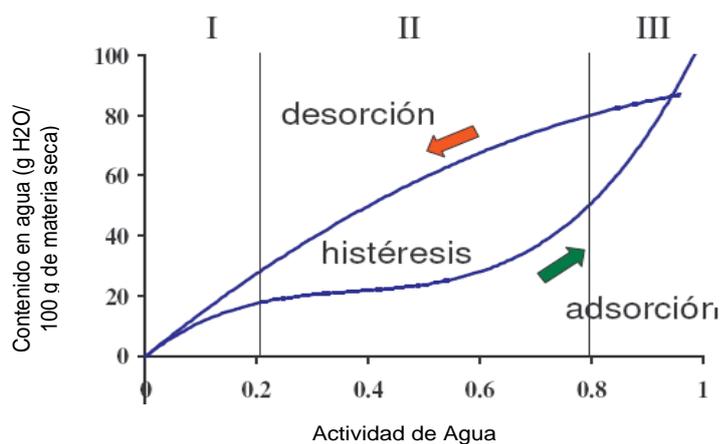


FIGURA 1.2 Isoterma de sorción

Fuente: Ponce, 2005

En el gráfico 1.2 se representa una isoterma de absorción. En cada punto en el eje de las Y indica el contenido en agua del alimento en gramos de agua por 100 gramos de producto seco y en el eje de las X correspondiente da, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la actividad de agua en el alimento o, lo que es lo mismo, humedad relativa encima del alimento.

Propiedades de los alimentos que controla la actividad de agua.

Ciertas propiedades de los alimentos y la manera en que el agua interacciona con los componentes resultan en diferentes grados de ligamiento del agua. El agua que se encuentra

fuertemente ligada tiene un potencial químico o actividad de agua baja.

Los tres principales efectos físicos que reducen la actividad de agua son:

Efecto Coligativo.

Cuando un soluto sólido se disuelve en agua, este interacciona con el solvente en tres dimensiones como lo es a través de fuerza intermoleculares dipolo- dipolo, fuerzas iónicas y puentes de hidrogeno. Esas interacciones afectan las propiedades de agua basado en la cantidad de moléculas adicionadas a la cantidad de moléculas de agua presentes. Esta interacción es llamada efecto coligativo (8). La depresión de actividad del agua por solutos disueltos es un factor bien conocido en los alimentos.

Para soluciones electrolíticas de bajo peso molecular, así como soluciones no electrolíticas, esta interacción puede ser analizada a través de la ley de Raoult.

$$A_w = \gamma \frac{N_{H_2O}}{N_{H_2O} + N_{Soluta}} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

El valor γ es una medida de no idealidad de un componente disuelto. Para moléculas grandes como gomas, almidones y proteínas, γ es muy pequeño y de esta manera reducen su actividad de agua mucho más que solutos ideales como azúcar o sal (8).

Efecto capilar.

Un efecto que causa la depresión de la actividad de agua es el efecto capilar.

La presión de vapor de agua encima de la curva del menisco líquido es menos que del agua pura debido a los cambios en las uniones de hidrógeno entre las moléculas de agua como resultado de la curvatura de la superficie. Ya que los alimentos tienen gran número de capilares, disminuye el valor de la actividad de agua. Sin embargo el 5- 7% del volumen en alimentos es por poros de 0.01- 0.001 μ m, lo cual hace disminuir la actividad de agua a valores de 0.899 - 0.34. De esta manera capilares pequeños tienen un gran efecto sobre la disminución de actividad de agua, y esos pequeños diámetros de los capilares son posteriormente vaciados en operaciones de eliminación de agua tales como la deshidratación o secado (8).

Interacción de superficie.

El agua interacciona con grupos químicos de moléculas a través de fuerzas dipolo- dipolo, uniones iónicas, y fuerzas de van der Waals. Las moléculas de agua así ligadas necesitan energía extra para cambiar de estado de líquido a vapor, resultando en una reducción de actividad de agua (8).

1.2.4. Monocapa de BET (Brunauer – Emmett – Teller)

La monocapa es el punto de mayor estabilidad en el alimento. Los valores de monocapa se calculan de acuerdo a la ecuación de BET, es útil para valores de A_w menores a 0.4. Investigaciones realizadas en alimentos acerca de la cinética de deterioro han demostrado que por debajo del contenido de humedad de la monocapa de BET, la velocidad de pérdida de calidad es insignificante.

El contenido de humedad se refiere al valor de la monocapa y es obtenido a partir de la ecuación BET, y esta generalmente alrededor de A_w 0.2 – 0.4 (8).

1.3. Deshidratación Osmótica de Frutas

1.3.1. FUNDAMENTOS DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA

La deshidratación osmótica consiste en la extracción de agua de un producto que se sumerge en una disolución hipertónica a un tiempo y temperatura específicos. Esta extracción se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica o baja actividad de agua de la disolución o por el gradiente de concentración entre la disolución y el sólido. Se han propuesto otros nombres para este proceso tales como deshidratación impulsada por diferencias de concentración o deshidratación e impregnación por inmersión (25).

En la deshidratación osmótica hay tres flujos continuos de masa, tal como se puede apreciar en la figura 1.3

- Flujo de salida de agua desde el alimento hacia la solución
- Flujo de soluto desde la solución hacia el alimento.
- Lixiviación de solutos propios del alimento (azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales)

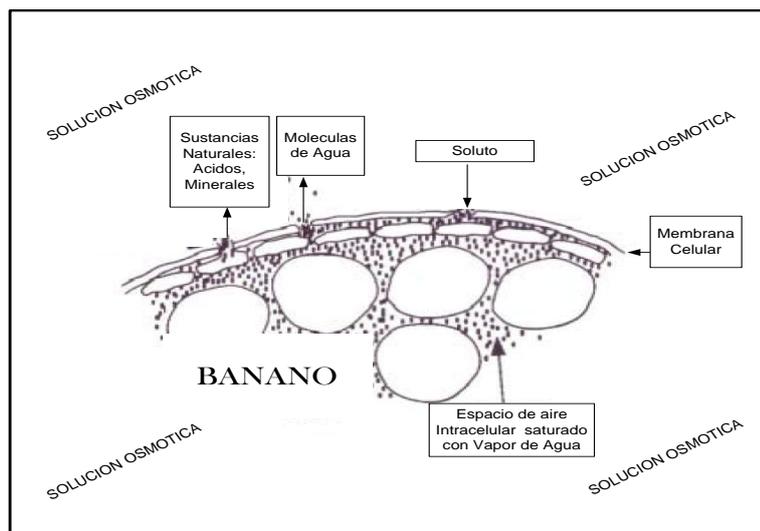


FIGURA.1.3 Transferencia de masa durante la osmódeshidratación del banano.

En el proceso de deshidratación osmótica es importante lo que corresponde a la diferencia del potencial químico (μ) a ambos lados de la membrana, entre el alimento y la solución osmótica (Barbosa- Canovas y Vega- Mercado, 1996). La fuerza impulsora requerida para la transferencia de masa está relacionada con la actividad de agua del alimento y de la solución a través de la siguiente expresión (Raoult- Back et al., 1991):

$$\mu = \mu^{\circ} + RT \ln A_w \quad (\text{Ec 1.2})$$

μ	Potencial químico
μ°	Potencial químico en n estado de referencia
R	Constante de los gases
T	Temperatura Absoluta
Aw	Actividad de Agua

La transferencia de materia se realiza hasta que las actividades de agua de la solución y del alimento se encuentran en equilibrio.

La cinética del proceso de deshidratación osmótica esta determinada por la aproximación al equilibrio, por la presión osmótica diferencial inicial entre el alimento, por el agente osmotico, por las velocidades de difusión del agua y del soluto y estas velocidades de difusión están controladas usualmente por el transporte de humedad en el producto y por la estructura de la frutas lo que suele conocerse como porosidad (5).

1.3.2. EFECTO OSMOTICO EN LA PERMEABILIDAD CELULAR.

Las membranas son impermeables a la mayoría de los solutos polares y permeables a los solutos no polares. Para el intercambio de la mayoría de los solutos polares existen mecanismos controlados que pueden implicar inversión de

energía. Las moléculas de agua tienden a moverse desde una región de menor concentración hacia una de mayor concentración (24). Una célula vegetal simplificada que se encuentra en la deshidratación osmótica es un equivalente cilíndrico que consiste en dos cilindros huecos coaxiales con una membrana localizada entre ellos, como se ilustra en la figura 1.4. Consiste en tres partes, un volumen intracelular, un volumen extracelular y una membrana celular: la membrana intracelular incluye citoplasma y una vacuola. El volumen extracelular contiene la pared celular y el espacio libre entre células individuales (14).

Existen tres formas en que se transfiere la masa a través del tejido celular. El primer transporte es del exterior a la membrana celular y es interpretado como el movimiento del material dentro del volumen externo. El segundo transporte es del interior a la membrana celular y se define como el transporte del material entre dos células vecinas a través de pequeños canales conocidos como plasmodesmos, los cuales son de material citoplasmático que establecen continuidad entre las células adyacentes. Permiten la libre circulación de líquidos para mantener la tonicidad de la célula vegetal y posiblemente el paso de sólidos y macromoléculas. El tercer

transporte es el flujo de masa a través de la membrana celular (3).

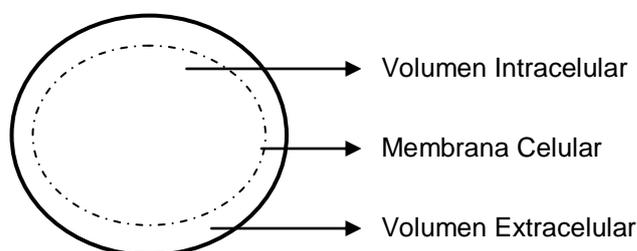


FIGURA 1.4 Célula vegetal durante el proceso de deshidratación osmótica.

Fuente: Sharma, 2003.

Durante el proceso osmótico el soluto se difunde al volumen extracelular. Dependiendo de las características del soluto, el soluto podría o no pasar a través de la membrana celular hacia el volumen intracelular. Este soluto crea un diferencial de potencial químico a través de la membrana celular, que dirige al agua del volumen intracelular al volumen extracelular. Luego el agua fluye hacia la solución osmótica a lo largo del espacio extracelular. Por lo tanto, en los procesos osmóticos existen dos corrientes de flujos simultáneos; el soluto fluyendo hacia el tejido y el agua fluyendo hacia fuera (3).

La pulpa, en frutas tales como el banano cuenta con los elementos necesarios para inducir el proceso de osmosis,

esta consiste en una estructura celular más o menos rígida que actúa como membrana semipermeable. Detrás de estas membranas celulares se encuentran soluciones diluidas, donde se hallan disueltos sólidos que oscilan entre el 5 a 18% de concentración. Si esta fruta se sumerge en una solución de alta concentración de azúcar se tendría un sistema donde se presentaría el fenómeno de ósmosis. En circunstancias como agitación o calentamiento del sistema se puede producir ingreso de sólidos hasta un 6 a 10 % (27).

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Características de materia prima

Los bananos utilizados para las diferentes experimentaciones fueron obtenidos en mercados locales procedentes del cantón Milagro.

Se procedió hacer una selección de color como se muestra en la figura 2.1 (7).

Adicionalmente se escogieron los estados de maduración 2, 4, 6 por ser niveles utilizados a escala industrial como materia prima. Además estos grados de maduración nos indican el progreso bioquímico en la conversión de almidones a azúcares con lo que se analizaría su incidencia sobre parámetros vinculados a la cinética de deshidratación osmótica en el banano.

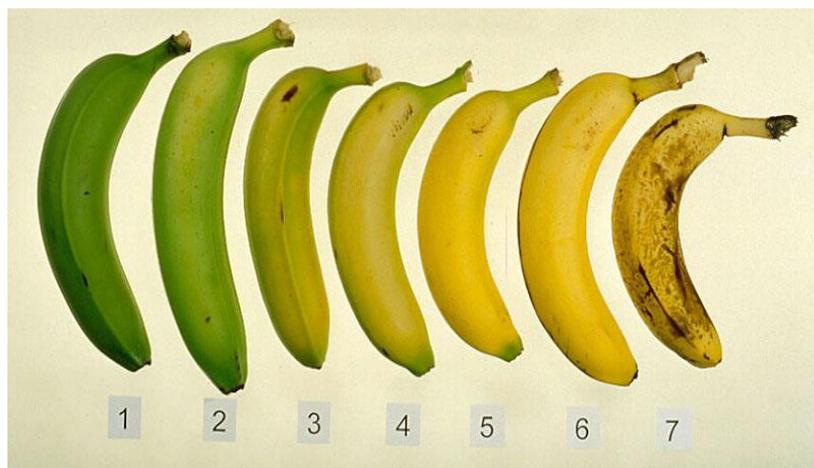


FIGURA 2.1. Gráfico de tabla de colores para el banano.

Fuente: Kader A, 2008.

Es conveniente mencionar que las muestras seleccionadas para el estudio deben cumplir con los siguientes requerimientos.

- Debe ser justo del estado de maduración escogido para el estudio es decir 2, 4, 6, comparados con la tabla de colores que se muestra en la figura 2.1.
- Debe ser siempre de la misma variedad de banano en todos sus estados es decir del tipo cavendish.
- Deben ser enteros, sanos, libres de la presencia de cualquier impureza que altere su composición química, microbiológica o sensorial.
- Debe estar exento de cualquier tipo de contaminante no propio del alimento tales como plaguicidas, herbicidas, fungicidas, etc(11).

Por cada estado de maduración se procedió a caracterizar cada una de las muestras, las cuales están detalladas en la tabla 4.

TABLA 4
Características de las muestras de banano en tres estados de Maduración

CARACTERISTICA DE LA MUESTRA	ESTADO DE MADUREZ		
	2	4	6
Variedad	Cavendish	Cavendish	Cavendish
Origen	Milagro-Ecuador	Milagro-Ecuador	Milagro-Ecuador
Humedad	67.68	69.45	74.87
Sólidos solubles	5.4± 2	11.4± 2	12± 1
pH	5.235	4.915	5.122
Acidez	0.422	0.668	0.630
Actividad de Agua	0.93	0.98	0.99
Índice de Madurez	12.79	17.06	19.04

Disoluciones Osmóticas

Para el presente estudio se escogió sacarosa como agente osmotico, por que sensorialmente tiene relación con la paleatibilidad y por tratarse de una fruta además su elección va en función de su capacidad de osmodepresor al disminuir la actividad de agua del producto, su solubilidad, permeabilidad a la membrana celular, así

también por su difusividad que es mucho mas baja que la del agua, lo que resulta en una baja captación de sólidos en el tejido (14).

La sacarosa empleada para la preparación de la disolución osmótica fue azúcar comercial blanca, la misma que fue adquirida en supermercados locales.

Las concentraciones del jarabe utilizadas para todas las experimentaciones fueron de 55 y 65 °Brix determinadas refractometricamente. Estos niveles o rangos han sido escogidos debido a que soluciones concentradas de sacarosa en un rango de 50 – 70 Brix son comúnmente utilizadas. Contreras y Smyrl (1981) realizaron pruebas utilizando estas concentraciones como soluto osmotico para manzanas, donde se observo una considerable reducción de peso en un 70% durante la deshidratación osmótica, característica deseable para el proceso (9).

De igual manera los niveles de 50 y 70°C escogidos para el factor temperatura son en base a pruebas realizadas por investigadores que manifiestan que para propósitos prácticos es conveniente trabajar a temperaturas sobre los 45°C en la osmodeshidratación de frutas (Martinez, 1999). Además que se conoce que existen relaciones cualitativas en cuanto a la perdida de agua siendo proporcional a variables como concentración, temperatura (Panagiotuo et al., 1998)

2.2. Diseño Experimental en el proceso de Osmodeshidratación

La deshidratación osmótica es un proceso en el cual confluyen diferentes factores asociados a la cinética de transferencia de masa. El proceso como tal responde a diferentes modelos y leyes difusionales ocurrientes en la complejidad de este sistema (25).

Una vez planificada la experimentación se procedió a la obtención de datos los mismos que fueron analizados a través de un diseño factorial tipo 2^k , donde k = número de factores, (2^2) es decir se trabajo con un diseño del orden 2 factores con 2 niveles. Obteniéndose de esta manera, información que permita concluir objetivamente la significancia del efecto de los factores escogidos sobre la remoción del agua por cada estado de madurez en el banano. A continuación se describe los factores escogidos, así como la variable respuesta.

Selección de Factores:

En función de numerosos estudios experimentales que determinan las variables que inciden sobre la transferencia de masa, se han seleccionado factores que tienen importancia en el proceso durante

la deshidratación osmótica. Los cuales son la concentración y la temperatura (25). La concentración fue escogida debido a que al mantener un diferencial de concentración, incrementa la presión osmótica, actuando como una fuerza impulsora de remoción de agua entre la solución y el alimento (22). La temperatura es considerada debido a que va a producir cambios en la permeabilidad de la pared celular y en la fluidez del jarabe. El aumento de la permeabilidad produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale de la fruta (22).

Lo que se espera obtener con la selección de estos factores así como con sus niveles es determinar parámetros óptimos que ofrezca una considerable reducción en cuanto a la pérdida de peso de la muestra de banano tratada osmoticamente.

Selección de Variable Respuesta

La variable respuesta para el presente estudio va ser la pérdida de agua a un determinado tiempo (t). Debido a que es la eliminación de agua lo que se busca evaluar, traducida en la pérdida de peso que progresivamente disminuye conforme lo hace el tiempo.

El tiempo que duro la osmodeshidratación fue constante de 2.5 horas. Debido a que el análisis de este estudio ha sido enfocado para el periodo de tiempo en que se desarrolla con mayor actividad el intercambio de masa en el alimento, tal como lo demuestra investigaciones realizadas donde sustentan que luego de las 2 horas de deshidratación ya se ha reducido el agua en más del 50% y ha ocurrido la mayor ganancia de sólidos (25).

Según Saputra (2001) estableció que una buena deshidratación osmótica es aquella que se obtiene una perdida de agua de alrededor del 50%. Este valor servirá de referencia para evaluar la efectividad del proceso. Para el presente estudio se espera obtener el efecto influyente de los factores sobre las variables respuesta así como la incidencia de los niveles con que se ha trabajado.

Experimentación factorial

Los experimentos factoriales del tipo 2^2 necesarios para la obtención de datos son: cuatro tratamientos o combinaciones por cada estado de madurez, haciéndose en cada uno de ellos por duplicado, por consiguiente: $4*3*2= 24$ corridas experimentales. El orden en que se hacen cada uno de estos tratamientos por estado es aleatorio con un 95% de nivel de confianza de acuerdo al programa estadístico MINITAB 14 empleado para este análisis.

Los tratamientos se establecieron tal como lo muestra la Tabla 5:

TABLA 5

Tratamientos realizados a los distintos estados de maduración durante la osmodeshidratación del banano

Tratamientos	Temperaturas (°C)	Concentraciones (°Brix)
1	50	55
2	70	55
3	50	65
4	70	65

2.3. Metodología

2.3.1. Cinética de deshidratación osmótica

Las experimentaciones fueron realizadas considerando variables que podrían influir sobre el proceso de transferencia de masa. Esto se medirá en función de parámetros obtenidos tales, como la pérdida de agua, ganancia de sólidos, coeficientes globales de difusión de agua y sólidos, conforme transcurra la deshidratación osmótica en las muestras de banano.

Se estudió el efecto de la temperatura y concentración a dos distintos niveles, con el objetivo de ver la combinación más óptima en cuanto a la mayor pérdida de agua y menor ganancia de soluto.

En cada corrida experimental se mantuvo constante la relación fruta – solución osmótica la misma que fue de 1:10, proporción establecida considerando la dilución que tendría el jarabe alrededor de la fruta conforme transcurra el tiempo. Además, se trabajo a presión atmosférica y con agitación constante.

En la Tabla 6 se muestra el número de experimentos así como las variables del proceso que se dará a cada uno de los tres estados de madurez durante la deshidratación osmótica del banano.

TABLA 6

Parámetros a evaluar durante las distintas experimentaciones de deshidratación osmótica

	Numero de Tratamiento	PARAMETROS DE PROCESO		
		Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
ESTADO DE MADUREZ 2	1	55	50	2.5
	2	55	70	2.5
	3	65	50	2.5
	4	65	70	2.5
ESTADO DE MADUREZ 4	5	55	50	2.5
	6	55	70	2.5
	7	65	50	2.5
	8	65	70	2.5
ESTADO DE MADUREZ 6	9	55	50	2.5
	10	55	70	2.5
	11	65	50	2.5
	12	65	70	2.5

Descripción del Proceso de deshidratación osmótica en el banano en sus tres estados de madurez

Se procedió a seleccionar muestras representativas por cada de estado de madurez, las mismas que fueron lavadas, peladas y cortadas en secciones de $1 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ de altura, * $2.5 \pm 0.5 \text{ cm}$ de diámetro.

Las muestras fueron pesadas antes de ser inmersas en la solución hipertónica preparada para el proceso de osmodeshidratación.



FIGURA 2.2. Fotografía de la deshidratación osmótica del banano

Se prepararon dos soluciones osmóticas, con sacarosa al 55% y 65%.

Las muestras experimentales fueron sumergidas en estas soluciones en una proporción de peso de fruta – jarabe 1:10.

Previo a esto el jarabe se calentó hasta la temperatura requerida para iniciar el proceso las cuales fueron de 50°C y 70°C. Siendo de esta manera colocados en una estufa, y mantenidos a temperatura constante durante 2.5 horas que fue el tiempo total que duro la deshidratación osmótica. Durante el experimento se tomaron muestras que servían para registrar pesos finales a un tiempo (t), así como, en la obtención de datos de humedad y de sólidos solubles.

Las muestras fueron tomadas a intervalos de 5 minutos durante la primera hora y cada 10 minutos durante el tiempo restante. Las unidades experimentales o muestras de banano por cada tratamiento fueron secadas superficialmente durante 5 minutos con papel absorbente.

El siguiente diagrama es una representación secuencial de las etapas en el proceso de deshidratación osmótica en todos los estados de madurez.

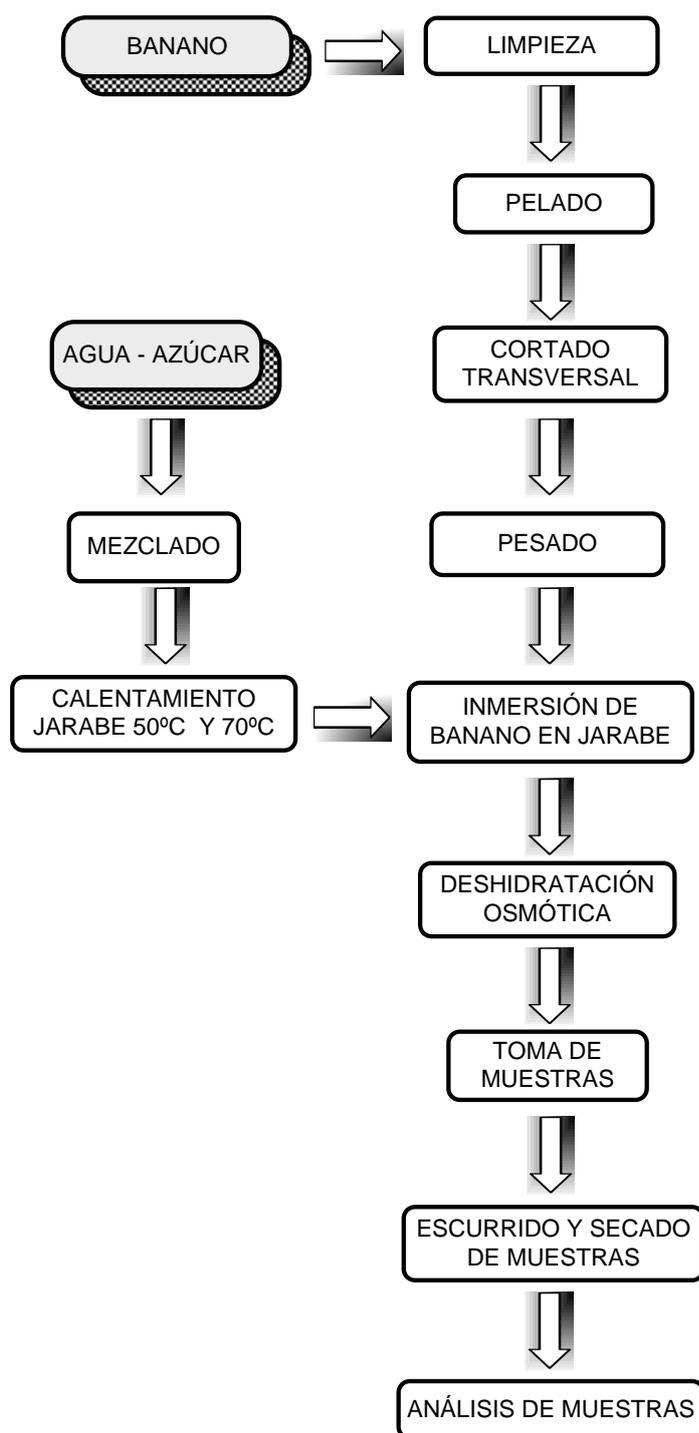


FIGURA 2.3. Diagrama de la deshidratación osmótica del banano

Métodos para evaluar la cinética de transferencia de masa durante el proceso de osmodeshidratación del banano

Existen diferentes parámetros que se deben analizar con el fin de deducir la cinética de transferencia de masa ocurrente durante el proceso de deshidratación osmótica, a continuación se presenta los métodos para calcular parámetros (5):

Perdida de Agua

$$\Delta M_W = \frac{M_o * X_{wo} - M_t * X_{wt}}{M_o} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

ΔM_W = Pérdida de agua (g de H₂O/ g de fruta).

M_o : peso inicial de la muestra (g);

M_t : peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g);

X_{wo} = Humedad inicial de la fruta (g de H₂O/ g de muestra húmeda).

X_{wt} = Humedad de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo t (g de H₂O/ g de muestra húmeda).

Ganancia de Sólidos

$$\Delta M_S = \frac{M_t * X_{st} - M_o * X_{so}}{M_o} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

ΔM_S = Ganancia de sólidos (g de sólidos/g de fruta).

M_o : peso inicial de la muestra (g);

M_t : peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g)

X_{so} = Sólidos solubles iniciales en la fruta ($^{\circ}$ Brix).

X_{st} = Sólidos solubles en la muestra deshidratada osmóticamente al tiempo t ($^{\circ}$ Brix).

Coeficiente de difusión de agua y de sólidos.

Coeficiente de difusión del agua.

Para el análisis de la transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica del banano a presión atmosférica es muy útil la segunda ley de Fick. Esta ley permite determinar el coeficiente de transferencia de difusión del agua desde el tejido de la fruta hacia la solución osmótica. De acuerdo al modelo propuesto por Crank, et al (1975), el coeficiente de difusión del agua (K_W) se obtiene al graficar la velocidad de difusión del agua (M) versus la raíz cuadrada del tiempo en

contacto, con lo que se tiene la pendiente de la curva lo cual representa el coeficiente de difusión del agua (4).

$$\Delta M_w = K_w \cdot (t)^{0.5} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

El valor correspondiente a la velocidad de difusión del agua (M), se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$M = \frac{M_0 \cdot X_{w0} - M_t \cdot X_{wt}}{M_0 \cdot X_{w0}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

M_0 = Masa inicial de la fruta (g).

M_t = Masa de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo t .
(g).

X_{w0} = Humedad inicial de la fruta (g de H₂O/ g de fruta húmeda).

X_{wt} = Humedad de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo t (g de H₂O/ g de fruta húmeda).

Coeficiente de difusión de sólidos.

El coeficiente de difusión de sólidos se lo calcula a través de la siguiente fórmula (5):

$$\Delta M_s = K S_{SS} \cdot (t)^{0.5} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

En donde S representa el valor del contenido de sólidos, calculado mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{M_t \cdot X_{St}}{M_0 \cdot X_{S0}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El coeficiente de difusión de sólidos es obtenido a través de la curva con pendiente K_s , graficada a partir del contenido de sólidos versus la raíz cuadrada del tiempo.

2.3.2. Isotermas de Sorción

Las isotermas de adsorción o desorción indican la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa circundante. Para su cálculo se procede colocando muestras de un mismo alimento en una serie de recipientes cerrados, en los cuales se mantienen soluciones salinas

saturadas, determinando en el equilibrio los contenidos de agua por medio del método gravimétrico, tal como se ilustra en la figura 2.4. Los detalles experimentales de este método han sido descritos por autores como Taylor, y Moler. Según se parta de un alimento húmedo o un alimento seco, se obtiene una curva de desorción o absorción (2).



FIGURA 2.4. Método gravimétrico para la construcción de isotermas de sorción del banano en sus diferentes estados de madurez.

Construcción de Isotermas de Sorción.

Las isotermas que se obtuvieron fue mediante la aplicación del método isopiéstico el mismo que consiste en un análisis cuantitativo de las muestras de banano por medio de pesadas. Se elaboraron en total 6 isotermas. Por cada estado

de madurez se analizó una isoterma para el producto natural y otro para el deshidratado osmóticamente.

Las sales empleadas para la obtención de las isotermas de sorción del banano y sus respectivas humedades de equilibrio se muestran en la tabla 7:

TABLA 7

Valores de actividades de agua de sales seleccionadas para el experimento

Sales	aw a 30 ° C
Hidróxido de Sodio	0.0758
Cloruro de Magnesio	0.3244
Carbonato de Potasio	0.4317
Nitrato de Sodio	0.7314
Nitrato de Potasio	0.9231

Estas soluciones son preparadas a partir de ácidos o bases orgánicas QP, las cuales una vez saturadas producen una presión de vapor de agua constante en el recipiente hermético que las contiene. Se utilizaron 5 valores de sales por duplicado para la construcción de todas las isotermas. Una vez que las soluciones se mantengan saturadas cada muestra es pesada tres veces por semana hasta que no registre cambio alguno. De esta manera se comprueba que todo el sistema ha llegado al equilibrio, es decir la muestra tiene el mismo valor de actividad de agua que las soluciones saturadas de todas las sales seleccionadas.

Para determinar el contenido de agua de las muestras en equilibrio se lo realiza a través del diferencial de pesos al inicio y al final del ensayo

La formula para transformar el porcentaje de humedad en humedad en base seca es la siguiente:

$$\text{Humedad base seca} = \frac{g \text{ H}_2\text{O}}{g \text{ de sólidos}} = \frac{(\% \text{ H}_2\text{O})}{100 - (\% \text{ H}_2\text{O})} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

(% H₂O) = contenido de humedad en base húmeda.

Una vez obtenido los valores de humedad en base seca se procede a graficar la curva de isoterma de sorción experimental del banano natural así como del deshidratado osmóticamente, a temperatura de 30°C, colocándose en el eje de las ordenadas la humedad en base seca y en el eje de las abcisas los distintos valores de actividad de agua.

Esta isoterma obtenida del proceso experimental es ajustado por el modelo matemático de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer), cuya ecuación presentada a continuación va para un rango de valores de actividad de agua de 0 a 0.9 (8).

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C * K * A_w}{(1 - K * A_w)(1 - K * A_w + C * K * A_w)} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

X_m = Humedad que corresponde a la monocapa de BET.

C = Constante que depende de la temperatura.

K = Factor de corrección.

La ecuación tiene 3 constantes X_m , C y K así como dos variables X y A_w , por lo tanto se puede hallar la solución. Para esto es necesario elaborar la isoterma experimental con mínimo 5 sales en el gráfico, tal como se lo ha hecho para el presente análisis.

Igualmente mediante la aplicación del modelo matemático de BET (Brunauer-Emmet-Teller), es posible obtener el valor de la monocapa el cual permite conocer el valor de actividad de agua para el cual el producto tiene la mayor estabilidad. La ecuación 2.9 es empleada para su determinación (8).

$$\frac{a_w}{(1 - a_w)X} = \frac{1}{X_m C} + \frac{a_w (C - 1)}{X_m C} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

A_w = actividad de agua

X = Contenido de agua adsorbida.

X_m = Valor de la Monocapa.

C = Valor de una constante.

El modelo arreglado de esta ecuación es la siguiente:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)X} = I + S * a_w \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

X = Humedad en base seca.

I = Intercepto.

S = Pendiente

A_w = actividad de agua

Para la graficación de las isotermas se utilizo el programa Water Analyser.

2.3.3. Determinación de porosidad efectiva

El termino porosidad es definido como la fracción de volumen de gas que se encuentra dentro de la muestra a analizar(23).

Se aplica una presión de vacío sobre el tejido vegetal que provoca el establecimiento de un diferencial de presión entre la fase líquida y el espacio intercelular ocupado por los gases.

Estos gases son reemplazados por los líquidos inyectados en la matriz celular de forma permanente. La cantidad de líquido introducida en la matriz celular depende de la presión ejercida, del tiempo y del tejido vegetal.

Resulta de gran interés conocer la porosidad efectiva del banano, ya que de este conocimiento se va inferir sobre la transferencia de masa durante la osmodeshidratación de los distintos estados de maduración de la fruta.

El coeficiente de porosidad a determinar va ser único ya que va depender de condiciones intrínsecas de la fruta como lo es el tipo de alimento que se analiza, la variedad, el medio de crecimiento, el grado de maduración, por lo que el banano tipo cavendish tendrá un coeficiente de porosidad en función de todo lo dicho anteriormente (6).

Un equipo de deshidratación osmótica al vacío presentado en la figura 2.5 fue utilizado para este propósito, cuyas especificaciones de sus componentes son mostradas en el apéndice S.



Figura 2.5. Equipo de deshidratación osmótica al vacío

La metodología a seguir es la propuesta por Fito (1992), el procedimiento es dado a conocer a continuación:

1. El banano es lavado, pelado, cortado en rodajas de $1 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ de altura, * $2.5 \pm 0.5 \text{ cm}$ de diámetro.
2. Se prepara una solución isotónica de sacarosa de acuerdo a la actividad de agua que tiene la muestra del banano.
3. Las muestras son pesadas y se determina el volumen aparente a través del principio de Arquímedes. Se conserva la relación fruta- jarabe 1:10.

4. Las muestras de banano son sumergidas en el jarabe contenido en el recipiente que se encuentra dentro del equipo de deshidratación osmótica al vacío.
5. Cinco diferentes presiones de vacío son aplicadas (50, 100, 150, 200, 250 mmHg), por un lapso de 2 minutos.
6. Una vez finalizado el tiempo sometido a vacío, el sistema es abierto y se deja por 10 minutos a presión atmosférica.
7. Se elimina el exceso de jarabe para lo cual se desliza las muestras sobre papel absorbente por tres minutos.
8. Se registra el peso final de las muestras.

Para calcular la porosidad efectiva, se procede en primer lugar a determinar para cada presión de trabajo la fracción volumétrica del líquido que ha penetrado en la muestra (X_v), a través de la siguiente ecuación (19):

$$X_v = \frac{(M_f - M_i)}{\rho_s * Vol_{fruta}} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

M_f: peso final de la muestra (g)

M_i: Peso inicial de la muestra (g)

ρ_s : Densidad de la solución (g/cm³)

Vol Fruta: Volumen de la muestra banano (cm³)

Cuando no hay deformación en la matriz sólida del alimento la porosidad efectiva es determinada con la ecuación 2.12 la cual es obtenida con la regresión lineal de X_v , contra $(1-1/r)$, donde la pendiente es ε_e (Gilibert, 2002) (20).

$$X_v = \varepsilon_e (1-1/r) \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde

r = Presión atmosférica / Presión trabajo

X_v = Fracción Volumétrica

ε_e = Porosidad efectiva de la fruta (%)

r = relación de compresión aparente

2.3.4. Análisis Físico Químico

Perdida de peso

Durante la deshidratación osmótica del banano, la formula que se aplica para la el cálculo de pérdida de peso es la siguiente (5):

$$\Delta M = \frac{M_o - M_t}{M_o} * 100 \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

ΔM = Pérdida de peso (%).

M_o : peso inicial de la muestra (g);

M_t : peso de la muestra a un tiempo t de tratamiento (g);

Humedad:

La humedad de las muestras de banano se determinó de acuerdo al método 934.06 (37.1.10) de la AOAC (1996). El contenido de humedad fue analizado por duplicado en muestras que finalmente son expresadas como porcentaje en base húmeda.

Actividad de Agua

Para el conocimiento de este parámetro que indica la relación entre la humedad de un alimento y la humedad relativa de la atmósfera que le rodea se han sugerido algunos modelos matemáticos de los cuales se ha escogido la ecuación de Grover el cual es un método empírico que asigna un factor de conversión equivalente de sacarosa (1).

$$A_w \cdot 100 = 10^4 - 10E^0 + 0.45 (E^0)^2 \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$$E^0 = \sum (E_i / M_i) \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

A_w = Actividad de agua

E_i = Valor equivalente al de la sacarosa ($E_i = 1$ para la sacarosa).

M_i = Contenido de humedad del ingrediente en gramos de agua por gramos de ingrediente.

Sólidos solubles:

Para la determinación de sólidos solubles de la fruta natural y deshidratada osmóticamente se lo realiza, basada en la norma INEN 380.

Deformación Volumétrica

Para determinar la deformación volumétrica que sufre la muestra luego de la deshidratación osmótica se procede a realizar lo siguiente (6):

Se miden las dimensiones de alto y diámetro por tratarse de una muestra que tiene forma cilíndrica. De igual manera este procedimiento se lo realiza finalizada la deshidratación

osmótica es decir una vez que hayan sido retiradas del jarabe y secadas superficialmente.

Para fines de cálculo se aplica la formula siguiente:

$$\gamma = \frac{V_f - V_o}{V_o} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

γ = Deformación Volumétrica

V_o = Volumen inicial (cm³)

V_f = Volumen final (cm³)

pH

La determinación de pH se lo realizo utilizando el potenciómetro accumet 950 por inmersión del electrodo en las muestras homogenizadas de banano en sus diferentes estados de maduración tal como lo muestra la figura 2.6. El potenciómetro se sometió a una calibración previa con soluciones buffer de pH 4 y 7.



FIGURA 2.6. Muestras homogenizadas de banano en diferentes estados de maduración.

Acidez

La obtención de la acidez se lo hace usando el método 942.15 (37.1.37) de la AOAC (1996). Este método el cual se basa en la titulación de las distintas muestras homogenizadas de banano, con solución de NaOH 0.1 N previamente valorada. El resultado se expresa como mg de ácido málico/ g de muestra.

Índice de Madurez.

El índice de madurez se expresa como la relación que existe entre el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable del banano (27).

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS.

3.1. Evaluación físico química en los diferentes estados de maduración

Acidez

La acidez presenta una variación ascendente en sus dos primeros estados de maduración, alrededor del 58% con respecto al banano no maduro. Conforme avanza su estado de maduración, el banano tiende a sintetizar ácidos predominantes en la fruta como el maleico y el cítrico. Este efecto es notorio a nivel sensorial. Por el contrario en el estado de maduración 6, la acidez tiende a disminuir ligeramente, con respecto al estado intermedio, pero de igual manera aumenta alrededor del 49% con respecto al estado inicial verde.



FIGURA 3.1. Comportamiento de la acidez durante la maduración del banano

pH

En cuanto al pH su variación es poco significativa, en sus primeros estados. El banano tiende al descenso, en un 6% con respecto al estado verde. Para el estado 6 su pH aumenta ligeramente con respecto al estado 4, pero igualmente presenta una disminución de aproximadamente el 2% con respecto a su estado inicial. Se puede observar que estos valores están en relación directa con los niveles de acidez en sus diferentes estados.

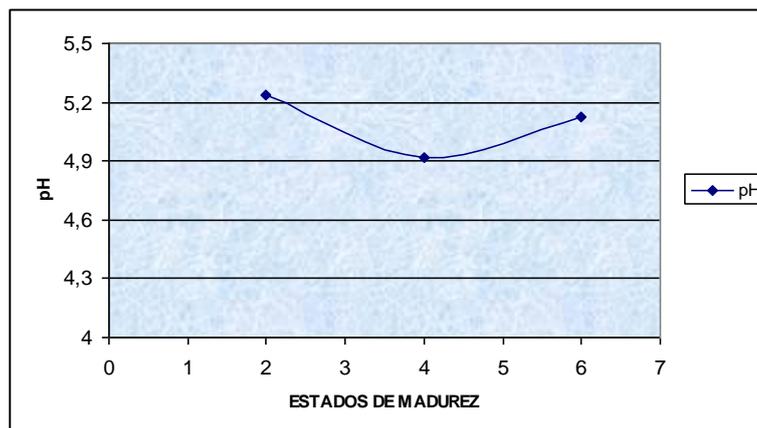


FIGURA 3.2. Comportamiento del pH durante el proceso madurativo del banano.

Almidón – Azúcares

La figura 3.3 muestra de manera simultánea la variabilidad en el contenido de almidón y azúcar expresado en porcentaje conforme avanza su estado de maduración (16). El almidón es el componente principal de bananos verdes, se puede apreciar un descenso notable de alrededor de un 20% en estado verde hasta llegar finalmente al 1%, de manera similar ocurre en el ascenso significativo de azúcares llegando a un máximo nivel del 19% cuando esta completamente maduro. Lo que demuestra una alta tasa de conversión de almidones a azúcares. Para esto deben ocurrir reacciones de hidrólisis del almidón, participando enzimas tales como las amilasas pero es muy probable que éstas no estén relacionadas directamente con la síntesis de sacarosa. Su total conversión durante la maduración de bananos involucra varias enzimas, pero realmente

es muy poco lo que se conoce acerca de los mecanismos involucrados (17).

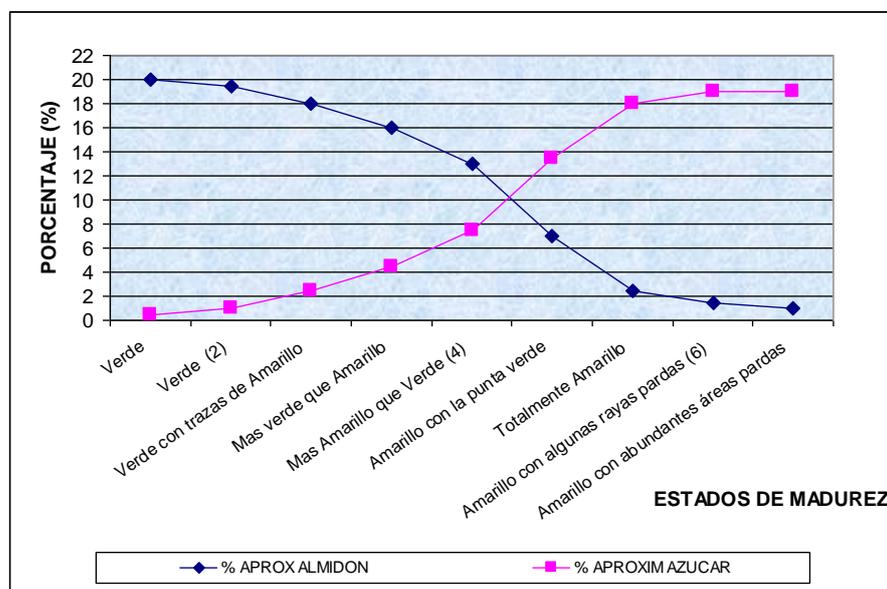


FIGURA 3.3. Conversión de almidón a azúcares durante la maduración del banano

Fuente: Wills R, 1999.

Deformación volumétrica.

El cálculo de deformación volumétrica ha sido determinado a partir de la ecuación 2.16 esta representado en gráfico 3.4. Se puede apreciar que a medida que avanza la maduración del banano este tiende a aumentar progresivamente su magnitud, lo que pone de manifiesto la disminución del volumen de las muestras deshidratadas osmóticamente, asociado con la cantidad de agua eliminada, sumados a cambios estructurales ocurridos internamente en la matriz del alimento (10).

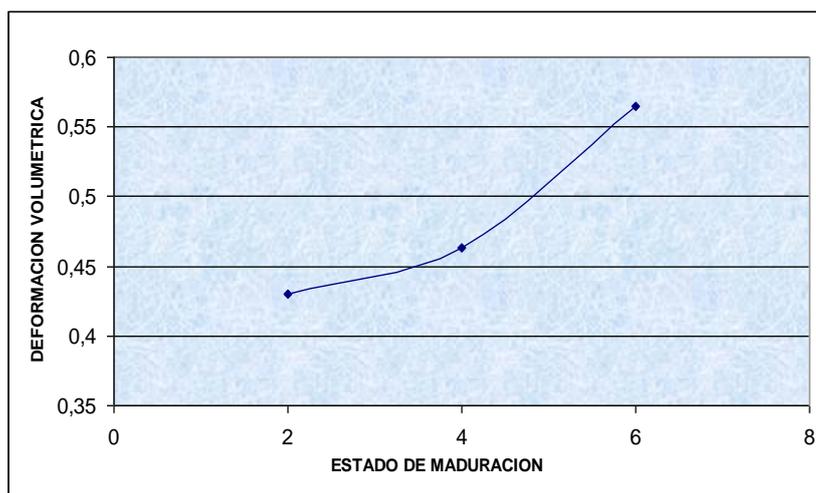


FIGURA 3.4. Deformación volumétrica a diferentes estados de maduración

Porosidad

Para la determinación de la porosidad se procede de acuerdo a la metodología experimental 2.3.3, los valores de porosidad efectiva a diferentes presiones para cada estado de maduración del banano, se presenta en la figura 3.6

Basándose en la estructura porosa de algunos alimentos Fito y Pastor (1994), explicaron el mecanismo Hidrodinámico, que ocurre, al haber trabajado a presiones de vacío como lo muestra la figura 3.5.

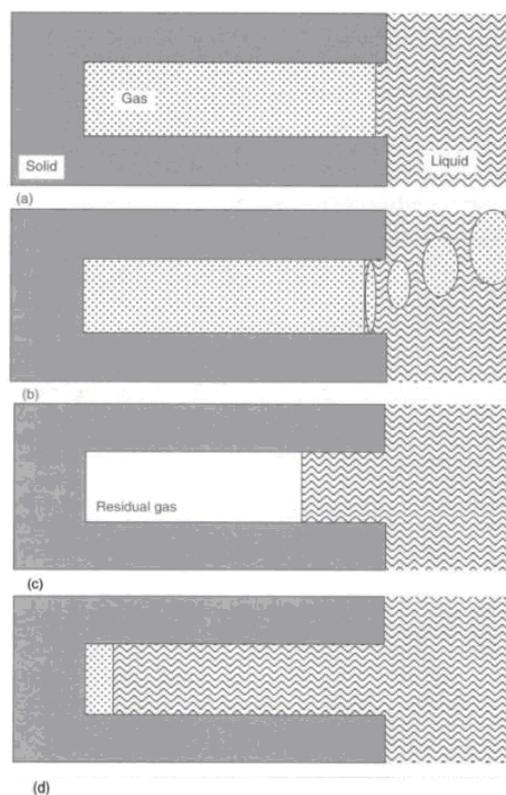


FIGURA 3.5. Etapas principales en la determinación de porosidad de un alimento inmerso en un líquido.

La situación es presentada en un poro ideal (adaptado de Fito, 1994):

(a) el efecto capilar bajo presión normal; (b) desgasificación bajo condiciones de vacío; (c) efecto capilar bajo presión reducida; (d) mecanismo hidrodinámico HDM restituida a presión normal.

Fuente: McKenna, 2004.

El gas presente en el alimento sufre en primer lugar una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema. Lo que implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento función de la presión aplicada, y por otra una penetración de líquido por capilaridad una vez alcanzado el equilibrio de presiones en el sistema. En segundo lugar la instauración de la presión atmosférica provoca un nuevo gradiente de presión que va actuar como fuerza impulsora y que hará que los espacios

intercelulares se llenen parcialmente de líquido. La cantidad de líquido que impregne la estructura, dependerá del nivel de desgasificación, por tanto de la presión de trabajo. Esta penetración de líquido, producida por gradientes de presión, que actúan como fuerzas impulsoras, esta controlada por la compresión o expansión del gas ocluido en los espacios intercelulares (10), obedeciendo a la ley de los gases, se presenta un aumento de porosidad al decrecer la presión, es decir un aumento de la volumen interno del poro al disminuir la presión del sistema.

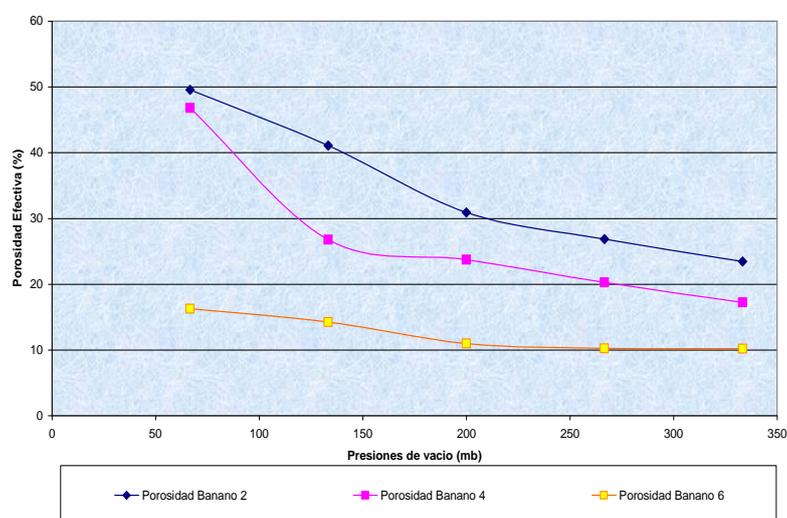


FIGURA 3.6. Porosidades del banano en sus diferentes estados de maduración a diferentes presiones

La estructura porosa de un alimento es de gran importancia a la hora de explicar la cinética en la deshidratación osmótica. De acuerdo a la ecuación 2.11(X_v) y al valor de $(1-(1/r))$ se obtuvo la pendiente que

representa el valor de porosidad, la misma que se muestra en la figura 3.7, donde se observa un descenso en el nivel de porosidad conforme avanza el ciclo de maduración del banano.

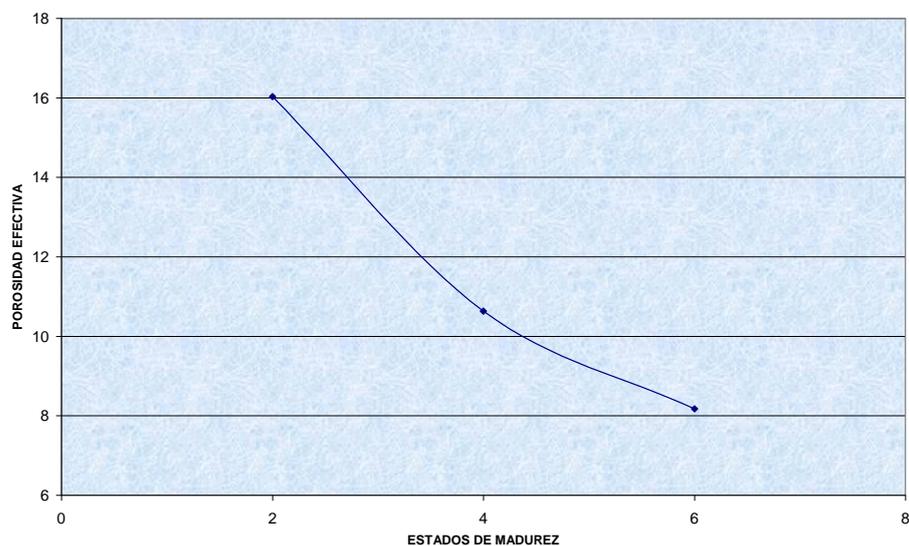


FIGURA 3.7. Porosidades del banano cavendish durante su maduración

3.2. Análisis de la disponibilidad de agua en banano a diferentes estados de maduración.

La disponibilidad de agua fue analizada en función de parámetros tales como la actividad de agua, las isothermas realizadas a cada estado de madurez así como sus valores de monocapa calculados a través del modelo de BET.

Actividad de agua a diferentes estados de madurez.

La figura 3.8 muestra los valores de actividad de agua obtenidos por cada estado de madurez. Como se puede apreciar la actividad de agua aumenta a medida que avanza su maduración, esto se relaciona directamente con el aumento de la disponibilidad de agua, ya que al parecer el cambio fisiológico que ocurre de almidón a azúcares tiene un efecto sobre la unión de agua, significando que a medida que el banano madura produce una retención más débil sobre las uniones de hidrogeno entre sacarosa y agua. Este proceso involucra la ruptura de uniones de hidrogeno encontradas en el agua liquida y cristales de sacarosa, seguido por la formación de uniones de hidrogeno –sacarosa- agua (12). Esto da lugar a que haya mayor agua disponible debido a las uniones débiles que encontramos para el estado de maduración 6. Sin embargo antes, los almidones presentes en el banano grado 2 tenían uniones más fuertes que las anteriores debido a la capacidad del almidón de retener fuertemente las moléculas de agua a su estructura cristalina. Un aspecto fundamental de este análisis es conocer como esta ligada el agua en el alimento más que la cantidad de agua que realmente contiene (1).

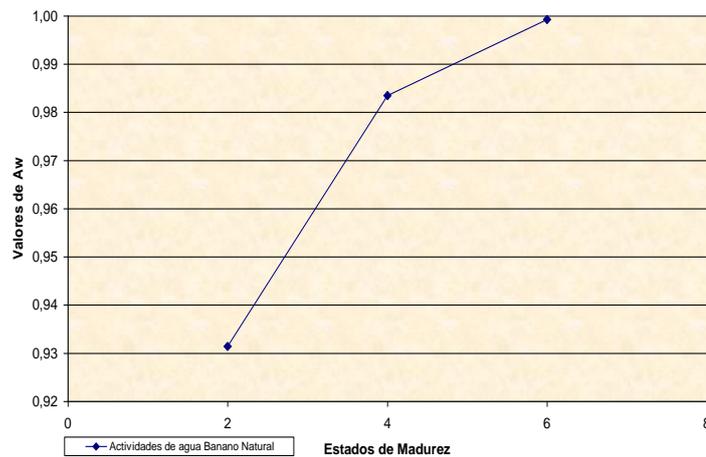


FIGURA 3.8. Actividades de agua del banano a diferentes estados de maduración.

Los solutos tales como el azúcar tienen un gran número de grupos hidroxilos (-OH) en sus moléculas, eso los liga superficialmente a las moléculas de agua por medio de uniones de hidrógeno (13).

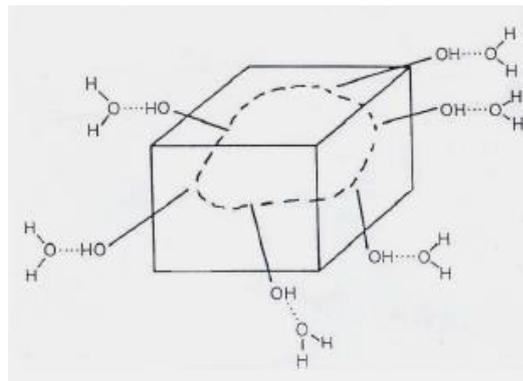


FIGURA 3.9. Superficie de absorción del agua sobre un material cristalino

Fuente: Moisture Sorption: Practical aspects of Isotherm Measurement and Use, 1987.

Isotermas de absorción a diferentes estados de madurez

La figura 3.10 muestra los valores de humedad en base seca durante el equilibrio alcanzado a diferentes actividades de agua para cada uno de los tres estados de maduración.

Comparando las graficas para los distintos ensayos realizados podemos apreciar que para un mismo contenido de agua hay un incremento de la actividad de agua, conforme progresa la maduración del banano (se incrementa el contenido de azucres). Por otro lado, debido a la presencia de almidón en el grado 2, el agua se encuentra menos movable, lo que produce que a determinados valores de actividad de agua, el banano capte mayor cantidad de agua que los estados 4 y 6.

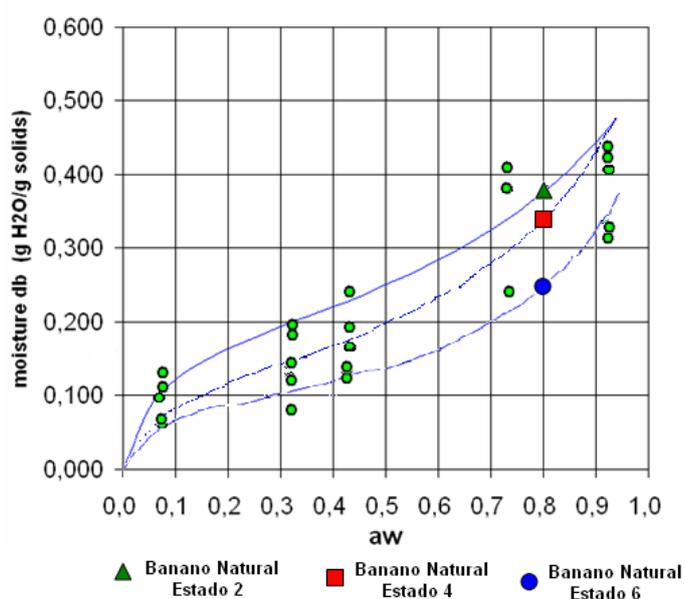


FIGURA 3.10. Isoterma de absorción a diferentes estados de madurez del banano cavendish

Monocapa de BET en distintos estados de maduración del banano.

La absorción de agua ocurre inicialmente por formación de una monocapa en la superficie del producto seguida de una absorción multicapa. La absorción multicapa de agua consiste en la captación de agua en los poros y espacios capilares, disolución de solutos, y finalmente en el atrapamiento mecánico de agua. Estas fases pueden solaparse y difieren entre los distintos tipos de alimentos, dependiendo de su composición y estructura (Troller y Christian, 1978).

Los valores obtenidos de la monocapa de BET son presentados en la figura 3.11, estos muestran un descenso a medida que el estado de madurez aumenta. El incremento de azúcares como tal para el estado grado 6 hace que la absorción o unión del agua-azúcar sean interacciones débiles como se explicó anteriormente, debido a esto la retención del agua en la estructura del alimento va decreciendo conforme aumenta la maduración.

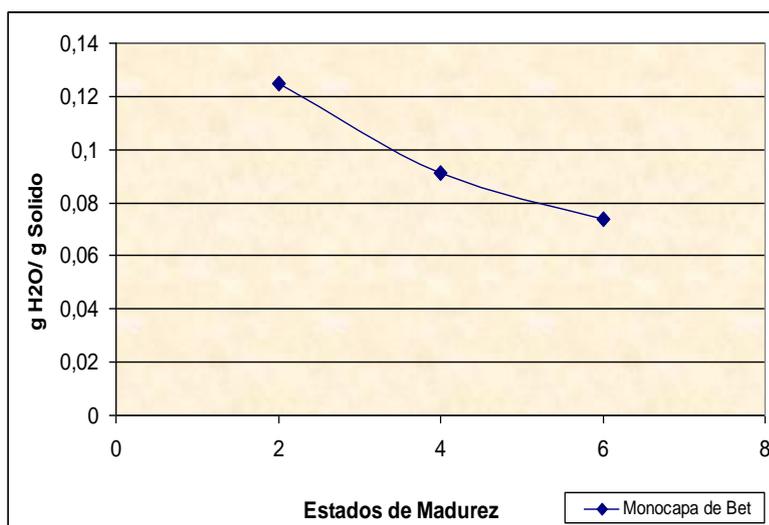


FIGURA 3.11. Monocapa de BET a diferentes estados de madurez en el banano cavendish

3.3 Deshidratación osmótica del banano a diferentes estados de maduración.

La deshidratación osmótica para cada estado de madurez fue analizada en función del efecto de los factores y sus niveles sobre la variable respuesta. Se hicieron análisis de varianza (ANOVA), empleando el programa estadístico Minitab 14. La influencia del factor concentración y temperatura se analizó estadísticamente sobre la pérdida o remoción de agua. Se obtuvieron resultados producto de 2 replicas efectuadas a cada uno de los 4 tratamientos por cada estado de maduración.

Remoción de agua.

Los resultados obtenidos sobre la pérdida de agua entre los cuatro niveles de un mismo estado se analizan en Minitab para determinar analíticamente cuales de los factores estudiados son significativos y si la interacción entre estos también lo es. El nivel de significancia utilizado para el análisis fue de 0,05. Para ello se ordeno los datos en una matriz de orden estándar presentado en el apéndice A, para los tres estados de maduración estudiados.

Aplicando el programa estadístico se estableció el factor o interacción que resulte ser significativa. Resultando que ambos factores tanto la temperatura como la concentración influyen sobre el porcentaje de pérdida de agua en las muestras de banano para los tres estados, a diferencia de la interacción de ambos factores la cual no tiene significancia sobre la variable respuesta para los estados 2 y 6 es decir no influye sobre la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica para este estado de maduración.

Así mismo analizando las dójimas a través del p- value se puede notar que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los factores concentración de la solución osmótica (A), y temperatura del sistema (B) son factores activos para los tres estados de maduración, y la interacción AB solo para el estado 4 resulto ser influyente en la variable respuesta. Es decir que ambos factores

juntos tienen un resultado diferente a la suma de ellos por separado. En los apéndices B, C, D se muestra el análisis de varianza obtenido con el programa estadístico Minitab 14.

En cuanto a los efectos resultantes de cada factor se obtuvo que la variable respuesta aumenta en 3.16% y 6.55% cuando se trabaja con una concentración 55 brix en comparación a una de 65 Brix para el estado 2 y 6 respectivamente. En cuanto al factor temperatura la pérdida de agua aumenta en un 7.58 % y 12.50% al trabajar a 50° comparado con una temperatura de 70°C para el estado 2 y 6 respectivamente. En el estado de madurez 4 en donde la interacción resulto ser significativa se debe analizar a partir de la estimación de efectos del grafico 3.12 donde se determina el mejor nivel en que se lleva a cabo la máxima pérdida de agua durante deshidratación osmótica para este estado de madurez, escogiendo los niveles en que tenga la mayor magnitud o sea los niveles +1, refiriéndose al nivel 65 brix y 70° C.

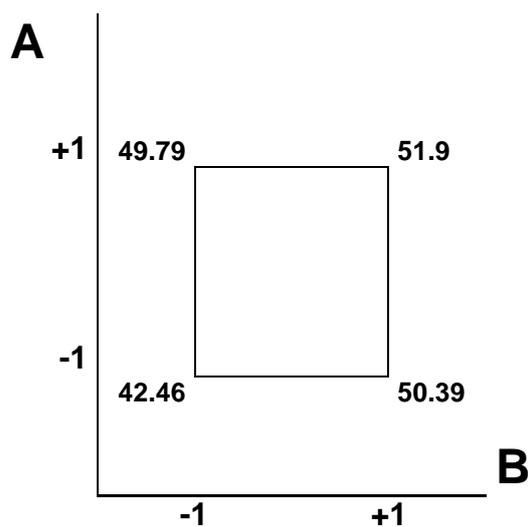


FIGURA 3.12. Determinación del nivel óptimo en la interacción de factores durante la deshidratación osmótica del estado 4

Para que la deshidratación osmótica sea considerada como efectiva, la remoción de agua debe ser aproximadamente del 50%. En la figura 3.13 se muestra una representación de los factores influyentes concentración y temperatura con sus niveles (± 1).

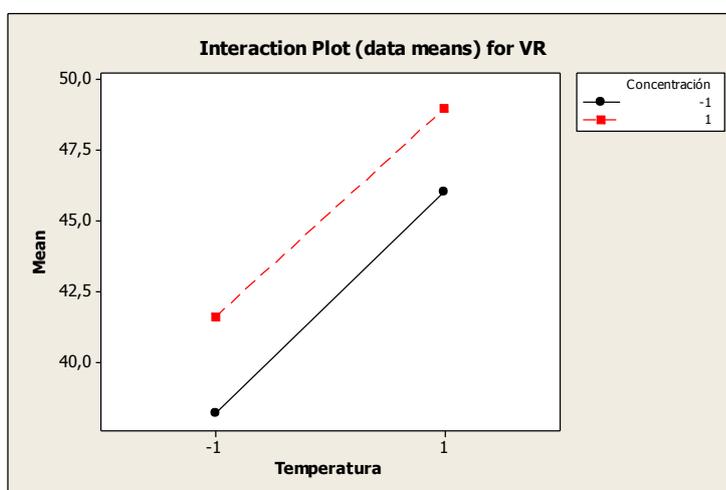


FIGURA 3.13. Representación gráfica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 2.

Durante la deshidratación osmótica del banano en su madurez grado 2, se aprecia la interacción entre los niveles de sus factores. Debido a que el proceso de deshidratación puede reducir hasta en 50% el contenido de humedad del producto, se establece el nivel más óptimo de acuerdo a las medias de cada uno de los cuatro tratamientos, en donde el nivel de 65 brix y 70°C resulta ser el más favorable.

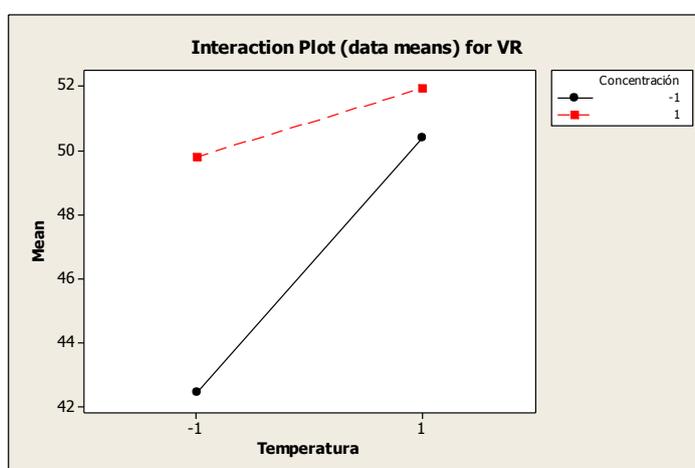


FIGURA 3.14. Representación grafica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 4.

Los resultados de la efectividad del proceso de osmodeshidratación para el estado 4 se ilustran en la figura 3.14. Mientras que para el estado 6 se muestran en la figura 3.15. Los experimentos realizados con el banano grado madurez 4 a concentraciones de 65 brix y temperatura de 70°C fueron los que presentaron mayor perdida de

agua igual o ligeramente superior al 50%. De manera muy similar ocurre con el estado de madurez 6, con valores diferentes pero en un igual orden, resultando ser más efectivo el tratamiento de 65 brix y 70°C, seguido de 55 brix y 70°C finalmente 65 brix y 50°C.

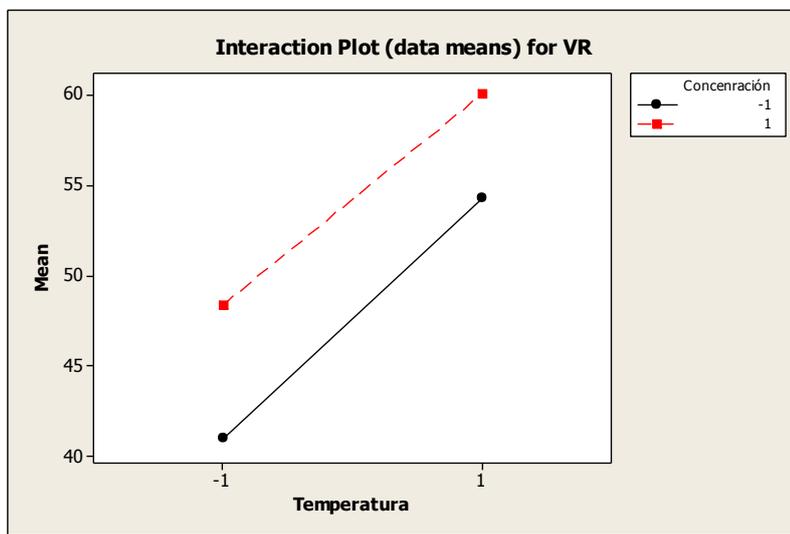


FIGURA 3.15. Representación grafica de factores y niveles en la osmodeshidratación del banano estado de madurez 6.

Perdida de peso entre niveles de un mismo estado

En la figura 3.16 se presenta la pérdida de peso de cada estado de maduración realizados a 65 brix y 70°C y determinados a partir de la ecuación 2.13:

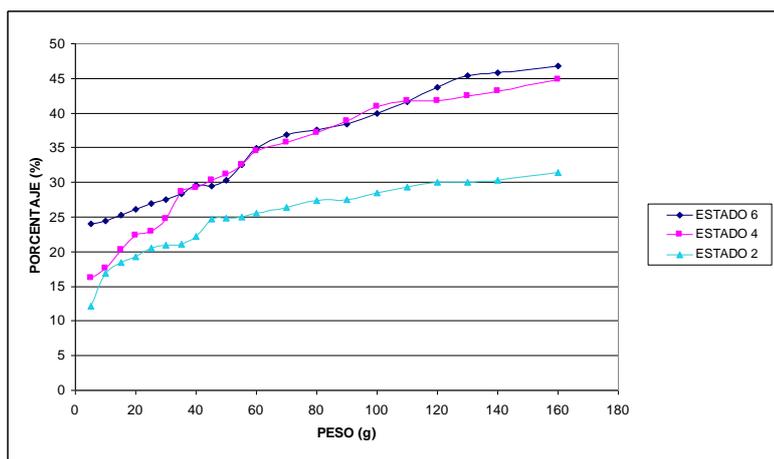


FIGURA 3.16. Comparación gráfica de la pérdida de peso en tres estados de maduración del banano.

Las comparaciones graficas para los tres estados fueron realizadas con el tratamiento más efectivo determinado por minitab 14, el cual fue de 65 brix y 70°C. Los tratamientos restantes para un mismo estado se presentan en los apéndices E, F, G.

La figura 3.16 muestra una pérdida de peso mayor conforme avanza su estado de maduración, esto se debe a la disponibilidad de agua lo que se traduce en la cantidad mayoritaria de agua libre lo que facilita su remoción al interior de la fruta producto del diferencial de potencial osmótico ocurrido durante el proceso.

3.3.1. Cinética de transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica.

Perdida de agua entre estados de maduración

En la figura 3.17, se observa la representación experimental del porcentaje de pérdida de agua para los tres estados de maduración obtenidos mediante la ecuación 2.1.

La totalidad de experimentos por cada estado de madurez se muestran en los apéndices H, I, J, P, Q, R los cuales presentan una mayor pérdida de agua en los niveles de concentración y temperatura superiores es decir a 65 Brix y 70°C. Por tal motivo los análisis comparativos entre los tres estados de maduración se realizaran a estas condiciones. Para el estado de maduración grado 6 se observa que remoción de agua ha alcanzado el 50% a los 65 minutos de haber iniciado la deshidratación osmótica, Mientras que en el estado 4 el 50% de eliminación de agua se alcanzo a los 130 minutos aproximadamente de haber iniciado el proceso. En tanto que para el estado de maduración inicial o grado 2 el 50% aun no ha sido alcanzado pasado los 150 minutos de iniciado el proceso de osmodeshidratación.

El potencial químico o la fuerza impulsora que produce la difusión va disminuyendo la osmosis conforme pasa el tiempo. A medida que un flujo avanza el otro decrece. (Le Maguer, 1988)

Debido a que la actividad de agua en el estado inicial o grado 2 es menor, con respecto a los otros estados, se explica que al haber un menor potencial químico, no se va a dar una mayor eliminación de agua. Por su parte en el estado 6 la forma de unión de agua con el azúcar es más débil que con el almidón, por lo que va ser más fácil su eliminación.

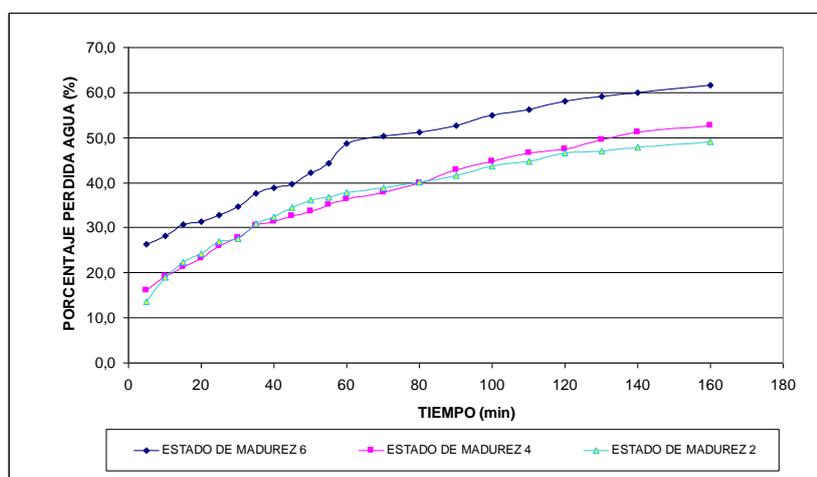


FIGURA 3.17. Pérdidas de agua a tres estados de maduración durante la osmódeshidratación del banano.

Ganancia de sólidos

Los experimentos fueron realizados con la combinación óptima de remoción de agua, es decir a 70°C y 65 brix. Ya

que justamente la deshidratación osmótica se basa en una remoción significativa de agua con la menor entrada de solutos al alimento (25).

En la figura 3.18 se presentan las distintas graficas de ingreso de sólidos, las cuales, muestran un comportamiento ascendente para los tres estados. Durante la primera hora se da la mayor ganancia, disminuyendo el gradiente de concentración circundante entre el banano y la solución osmótica, por lo tanto disminuye la fuerza impulsora, de ingreso de sólidos para todos los estados conforme pasa el tiempo, estableciéndose al final del proceso un orden, en el que el estado inicial o grado 2, presenta mayor ganancia de sólidos, con un 9.15 gramos de solido/ gramos de fruta, seguido del estado 4 con un 6.533 gr de solido/ gramos de fruta, y finalmente el estado 6 que con un valor de 5.255 fue el obtuvo el menor valor de incremento de sólidos. La captación de soluto durante la deshidratación osmótica resulta en la formación de una capa de sólidos concentrados a través de la superficie de la fruta, misma que disminuye la fuerza impulsora para el flujo del agua.

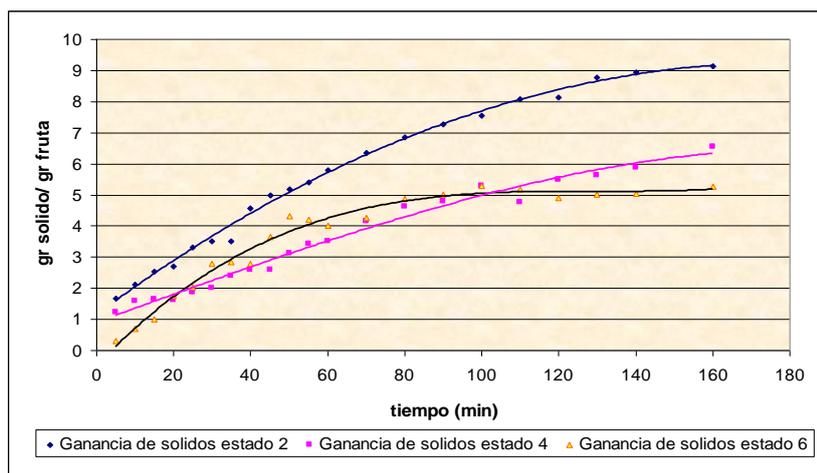


FIGURA 3.18. Ganancia de sólidos durante la osmodeshidratación del banano a diferentes estados de madurez..

El mayor ingreso de sólidos en el estado de madurez 2, esta relacionado principalmente a la contradifusión del agua-soluto. Maguer Yao explicaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica, ellos indican que en el momento en que hay una disminución en la incorporación de sólidos, la eliminación de agua se incrementa, originando una competencia entre el solido y el agua. Es decir que al haber mayor potencial químico, hay una mayor salida de agua, con la consecuente disminución de la impregnación de solutos. Todo esto asociado con la actividad de agua del alimento. Además, existen otros factores que se podrían analizar, como es la variación de la composición química a través de todos los estados de maduración así como la selectividad de la

membrana, desarrollándose una difusión natural de sólidos por concentración.

Es interesante notar que el estado de madurez 4, muestra un comportamiento similar al estado 2 cuando se analiza la pérdida de H₂O y un comportamiento similar al estado 6 cuando se analiza la ganancia de sólidos. Este resultado daría a pensar el efecto del porcentaje de azúcar y almidón que posee el estado 4 sobre la difusión de H₂O y el azúcar. Este hecho debe ser estudiado a mayor profundidad con equipos mas sofisticados, como NMR, DSC para analizar la movilidad molecular sobre la deshidratación osmótica.

Coeficientes de transferencia de masa.

Para realizar el análisis de transferencia de masa un parámetro importante a estudiar, son las constantes cinéticas del agua y de sólidos (K_W y K_{SG}), las cuales indican el grado de dificultad o interferencia para el transporte de componentes al interior de la fruta como agua o azúcares(5). La tabla 8 muestra los coeficientes cinéticos obtenidos mediante el cálculo de pendientes de los gráficos presentados en los apéndices K, L.

TABLA 8.
Constantes cinéticas de transferencia de masa durante
la osmodeshidratación del banano

ESTADOS DE MADUREZ	K_w	R^2	K_{SG}	R^2
2	0,0483	0,9724	0.2229	0.9879
4	0,0499	0,9973	0.0456	0.9672
6	0,0510	0,9814	0.0428	0.8889

Los coeficientes de difusión del agua obtenidos a partir del tratamiento más efectivo de 65 Brix y 70°C para todos los estados, muestran que el mayor coeficiente K_w se encuentra en el estado de maduración 6, esto probablemente se debe al mayor contenido de agua libre con respecto a los otros estados lo que significaría una menor resistencia a la difusión del agua en la transferencia de masa hacia el exterior de la célula y posteriormente a la solución osmótica por el gradiente de concentración existente en el sistema.

En cuanto al coeficiente de difusión de sólidos presentado en el apéndice L, se aprecia que la incorporación de sacarosa a las muestras de banano es menor a medida que disminuye el estado de madurez estableciéndose un valor de 0.22 para el estado 2, 0.045 para el estado 4, y 0.042 para el estado 6. Se puede notar que a medida que aumenta el K_w disminuye el

K_{SG} de manera progresiva en un mismo estado, al parecer se produce una difusión contraria inversamente proporcional a la fuerza impulsora desarrollada, durante el proceso de osmodeshidratación. En el estado 6 se puede observar que existe un a menor retención o mayor eliminación del agua, a medida que hay un menor ingreso de sólidos, hay una competencia de la difusión del agua que va hacia fuera de la célula. Para el caso específico de K_{SG} , se busca el coeficiente que represente la mayor resistencia a la difusión de sólidos y eso lo podemos observar de manera significativa en el estado inicial o grado 2.

3.3.2. Efecto de la porosidad en la transferencia de masa durante el proceso osmótico en cada estado de maduración.

La porosidad tiene una relación directa con el efecto capilar, y esta a su vez con la capacidad de retención del agua. Lo que significaría que en un poro de menor tamaño sería más difícil la eliminación de agua. Si comparamos la remoción de agua con la porosidad, en los diferentes estados de maduración el efecto capilar haría que el agua en el estado 6 este mas unida. Lo cual no representa los resultados obtenidos experimentalmente. Por lo tanto se puede inferir que la

porosidad no incide sobre las variables de deshidratación osmótica, no afectando la transferencia de masa, debido al hecho de no tener efecto capilar, tal como lo ratifican las isotermas presentados en la figura 3.10 donde se observa un comportamiento similar inicial entre todas.

3.4. Comparación de los resultados de la movilidad de agua en los distintos estados de maduración del banano durante la deshidratación osmótica.

Actividad de agua del producto deshidratado osmóticamente a diferentes estados de madurez.

Los valores obtenidos de actividad de agua mediante la ecuación 2.14 son presentados en la figura 3.19. Existe una notable diferencia entre el estado inicial o grado 2, el cual presenta un valor de 0.53 con respecto a los otros estados los cuales llegan a un valor de 0.8.

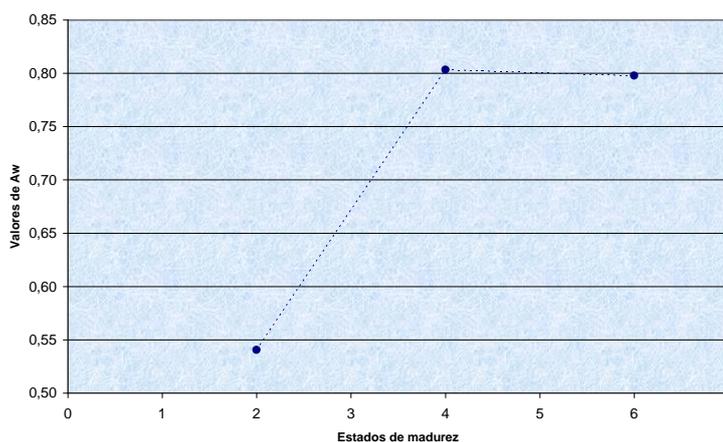


FIGURA 3.19. Perdidas de agua a tres estados de maduración durante la osmodeshidratación del banano.

Isotermas de absorción del banano osmodeshidratado a diferentes estados de madurez

En la figura 3.20 se presentan las isotermas de adsorción a 30°C de muestras de banano a diferentes estados de madurez deshidratadas osmóticamente. En ella podemos observar que no hay diferencia con respecto al ordenamiento de las isotermas naturales.

En las isotermas del banano finalizadas luego de la deshidratación osmótica no todas tuvieron un comportamiento similar en un principio o a valores bajos de Aw. Hay mas diferencia en el estado 2 y 4, que entre el estado 4 y 6, pudiendo esto ultimo suceder por el hecho que en el estado 4 hubo una mayor ganancia de azucares que en el estado 6, lo que constituye un comportamiento parecido

debido a que hubo una mayor competencia entre el azúcar y el almidón que le hace un poco mas libre al agua.

De igual manera por cada estado de madurez se presentan en los apéndices M, N, O las isothermas antes y después de la deshidratación osmótica.

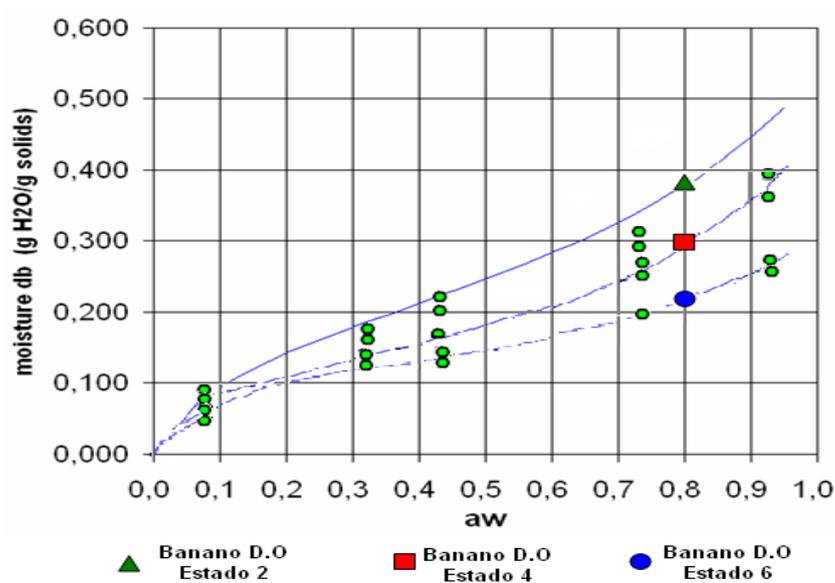


FIGURA 3.20. Isotherma de sorción a diferentes estados de madurez en la deshidratación osmótica del banano

Monocapa de BET en distintos estados de maduración del banano osmodeshidratado.

La figura 3.21 muestra una representación de la monocapa de BET en muestras de banano deshidratadas osmóticamente. Como se observa a lo largo de su maduración tienden a un descenso

progresivo, afectando la forma de unión de agua con los sitios polares de componentes macromoleculares tales como el almidón y azúcar que constituyen la matriz sólida del alimento. Sin embargo estos valores son más altos que los valores de la monocapa antes del proceso de deshidratación osmótica.

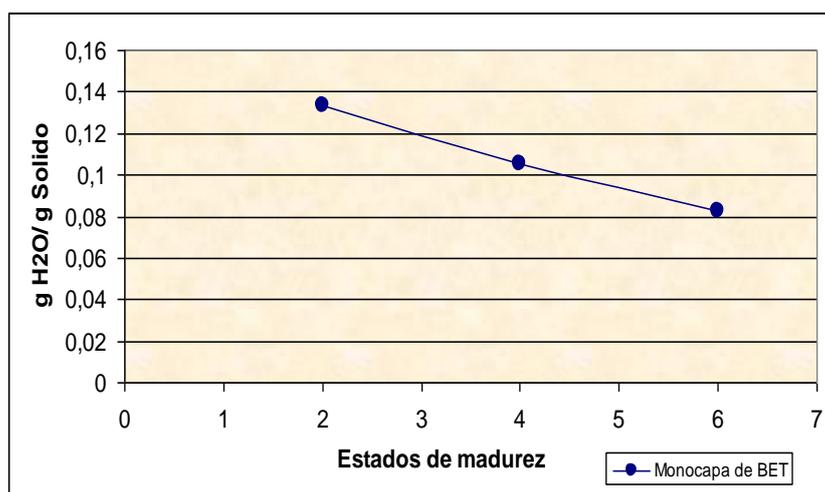


FIGURA 3.21. Monocapa de BET a diferentes estados de madurez del banano cavendish.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusión se pudo observar que:

La pérdida de agua durante el proceso osmótico promueve a la variación de ciertos parámetros físicos tal como la deformación volumétrica, se observa que ésta aumenta a medida que avanza la maduración del banano, originando cambios geométricos y estructurales que afectarían las propiedades de transferencia de materia, en operaciones complementarias de remoción de agua tales como el secado.

Durante la transferencia de masa en la deshidratación osmótica, se realiza una contradifusión de agua-soluto. A medida que transcurre la maduración del banano la difusión del agua incrementa su valor, mientras que el soluto disminuye por difusión natural, de manera que factores como la composición química y la permeabilidad de la membrana celular se ve afectada a medida que la fruta va cambiando a través del tiempo. Esto se explica debido a que al haber un mayor potencial químico, se va a

dar una mayor eliminación de agua. Por ejemplo en el estado de madurez 6 la forma de unión de agua con el azúcar es mas débil que con el almidón, debido al mayor contenido de azúcares que almidones existentes en este estado lo cual evita que haya una mayor retención de agua, debido a la capacidad del almidón de retener fuertemente las moléculas de agua a su estructura cristalina.

Por otro lado, el ingreso de sólidos hacia el producto es mayor en el banano con estado de maduración grado 2, produciendo una obstrucción en los poros de la membrana celular, habiendo una consecuente disminución en la eliminación del agua.

Se comprobó que la porosidad no tiene incidencia en el proceso osmótico, debido a que el efecto capilar, es decir el efecto del tamaño del poro en la movilidad de agua no es importante en la deshidratación osmótica para este alimento.

Dentro de las recomendaciones se puede citar lo siguiente:

Es importante recalcar la necesidad de realizar estudios más profundos al respecto de este tema. Principalmente en lo que respecta a la disponibilidad de agua a lo largo del ciclo madurativo del banano. Métodos como differential scanning calorimeter (DSC), resonancia magnética nuclear (NMR) nos darían una mejor comprensión al respecto.

Además, sería recomendable realizar un análisis con respecto a la porosidad, durante todo el proceso de deshidratación osmótica, con el fin de entender comportamientos del alimento como la incidencia del efecto capilar sobre las propiedades fisicoquímicas, relacionadas con la cinética de transferencia de masa.

APÉNDICES

APENDICE A

ESTADO DE MADUREZ 2						
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Concentración	Temperatura	VR
				[Brix]	(°C)	%
2	1	1	1	1	-1	42,633
8	2	1	1	1	1	49,051
6	3	1	1	1	-1	40,546
4	4	1	1	1	1	48,873
1	5	1	1	-1	-1	37,851
3	6	1	1	-1	1	46,482
7	7	1	1	-1	1	45,536
5	8	1	1	-1	-1	38,557
ESTADO DE MADUREZ 4						
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Concentración	Temperatura	VR
				[Brix]	[°C]	%
4	1	1	1	1	1	52,731
5	2	1	1	-1	-1	42,414
6	3	1	1	1	-1	50,016
3	4	1	1	-1	1	50,743
2	5	1	1	1	-1	49,578
8	6	1	1	1	1	51,125
1	7	1	1	-1	-1	42,521
7	8	1	1	-1	1	50,056
ESTADO DE MADUREZ 6						
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Concentración	Temperatura	VR
				[Brix]	[°C]	%
3	1	1	1	-1	1	53,734
1	2	1	1	-1	-1	40,728
5	3	1	1	-1	-1	41,235
6	4	1	1	1	-1	48,193
7	5	1	1	-1	1	54,891
8	6	1	1	1	1	61,608
4	7	1	1	1	1	58,475
2	8	1	1	1	-1	48,542

APENDICE B

ANALISIS DEL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO PARA EL ESTADO DE MADURACION 2 DEL BANANO CAVENDISH.

Factorial Fit: VR versus Concentración. Temperatura

Estimated Effects and Coefficients for VR (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		43,6912	0,3005	145,38	0,000
Concentración	3,1692	1,5846	0,3005	5,27	0,006
Temperatura	7,5887	3,7943	0,3005	12,63	0,000
Concentración*Temperatura	-0,2162	-0,1081	0,3005	-0,36	0,737

S = 0,850024 R-Sq = 97,91% R-Sq(adj) = 96,34%

Analysis of Variance for VR (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	135,264	135,264	67,6322	93,60	0,000
2-Way Interactions	1	0,093	0,093	0,0935	0,13	0,737
Residual Error	4	2,890	2,890	0,7225		
Pure Error	4	2,890	2,890	0,7225		
Total	7	138,248				

APENDICE C

ANALISIS DEL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO PARA EL ESTADO DE MADURACION 4 DEL BANANO CAVENDISH

Factorial Fit: VR versus Concentración. Temperatura

Estimated Effects and Coefficients for VR (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		48,648	0,2255	215,69	0,000
Concentración	4,429	2,214	0,2255	9,82	0,001
Temperatura	5,032	2,516	0,2255	11,15	0,000
Concentración*Temperatura	-2,900	-1,450	0,2255	-6,43	0,003

S = 0,637943 R-Sq = 98,50% R-Sq(adj) = 97,37%

Analysis of Variance for VR (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	89,865	89,865	44,9326	110,41	0,000
2-Way Interactions	1	16,826	16,826	16,8255	41,34	0,003
Residual Error	4	1,628	1,628	0,4070		
Pure Error	4	1,628	1,628	0,4070		
Total	7	108,319				

APENDICE D

ANALISIS DEL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO PARA EL ESTADO DE MADURACION 6 DEL BANANO CAVENDISH

Factorial Fit: VR versus Concentración. Temperatura

Estimated Effects and Coefficients for VR (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		50,9258	0,4246	119,95	0,000
Concentración	6,5576	3,2788	0,4246	7,72	0,002
Temperatura	12,5026	6,2513	0,4246	14,72	0,000
Concetración*Temperatura	-0,8284	-0,4142	0,4246	-0,98	0,384

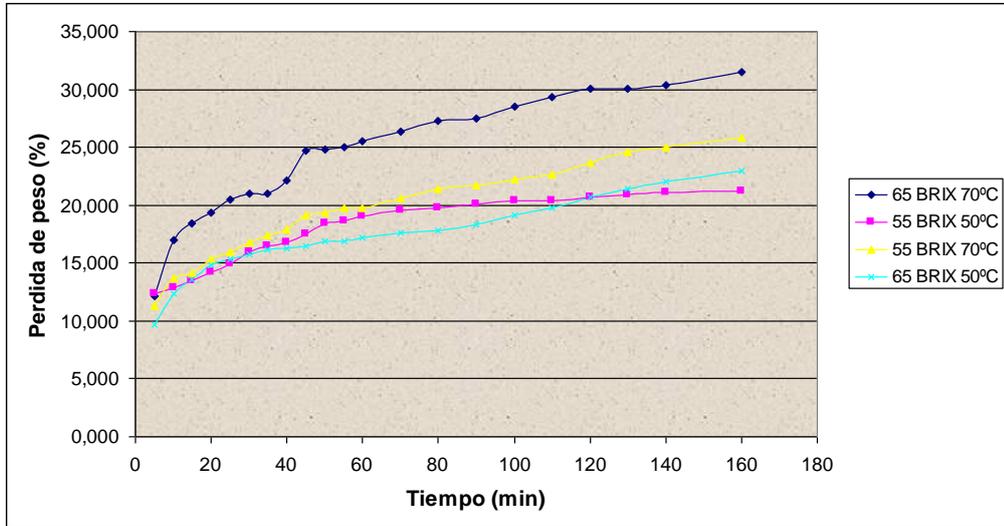
S = 1,20082 R-Sq = 98,58% R-Sq(adj) = 97,51%

Analysis of Variance for VR (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	398,634	398,634	199,317	138,23	0,000
2-Way Interactions	1	1,372	1,372	1,372	0,95	0,384
Residual Error	4	5,768	5,768	1,442		
Pure Error	4	5,768	5,768	1,442		
Total	7	405,77				

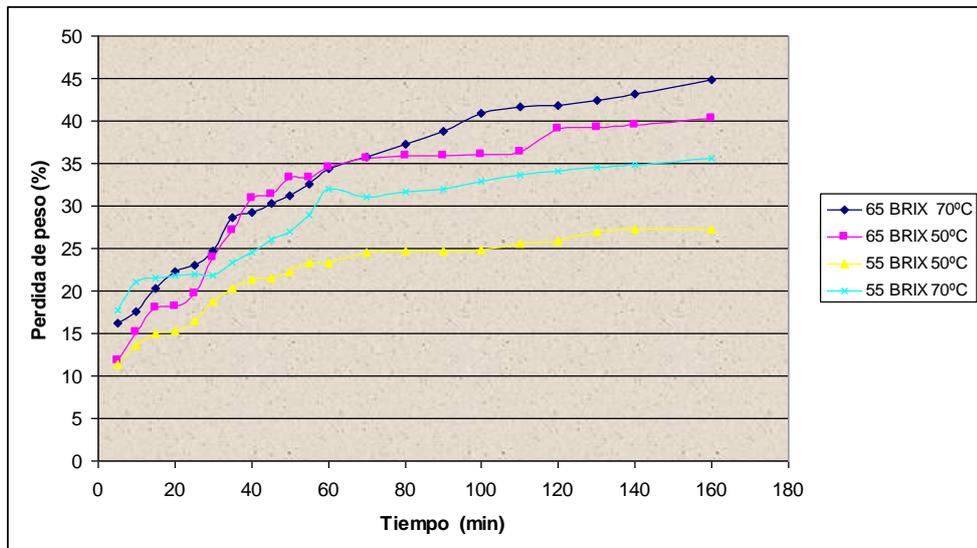
APENDICE E

PERDIDA DE PESO ESTADO 2.



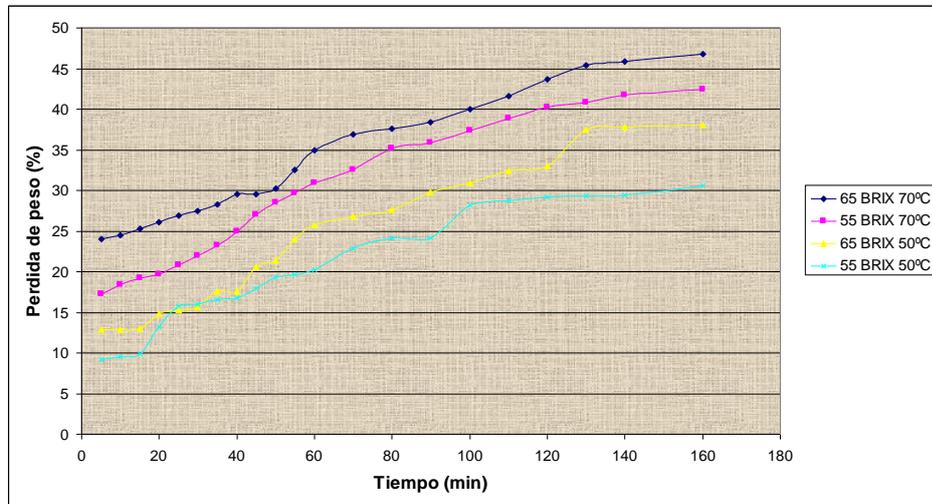
APENDICE F

PERDIDA DE PESO ESTADO 4.



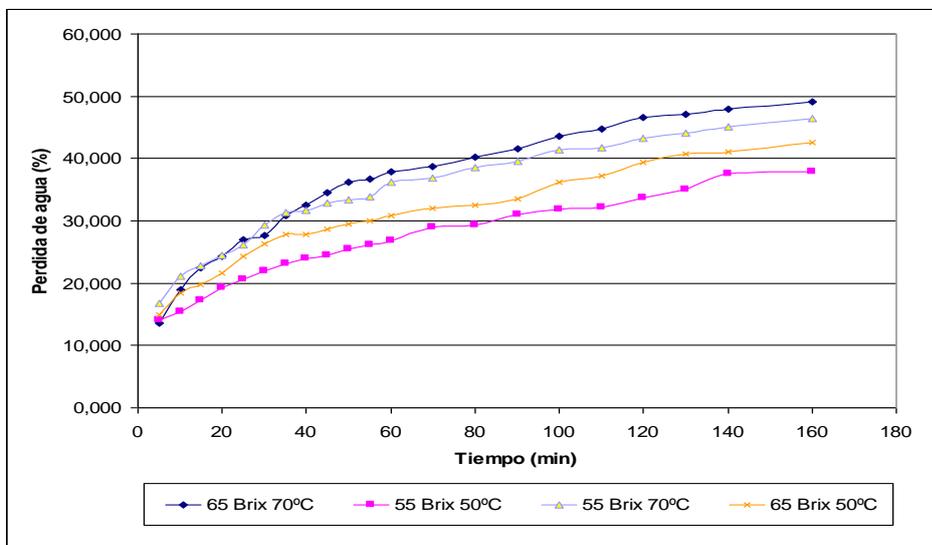
APENDICE G

PERDIDA DE PESO ESTADO 6



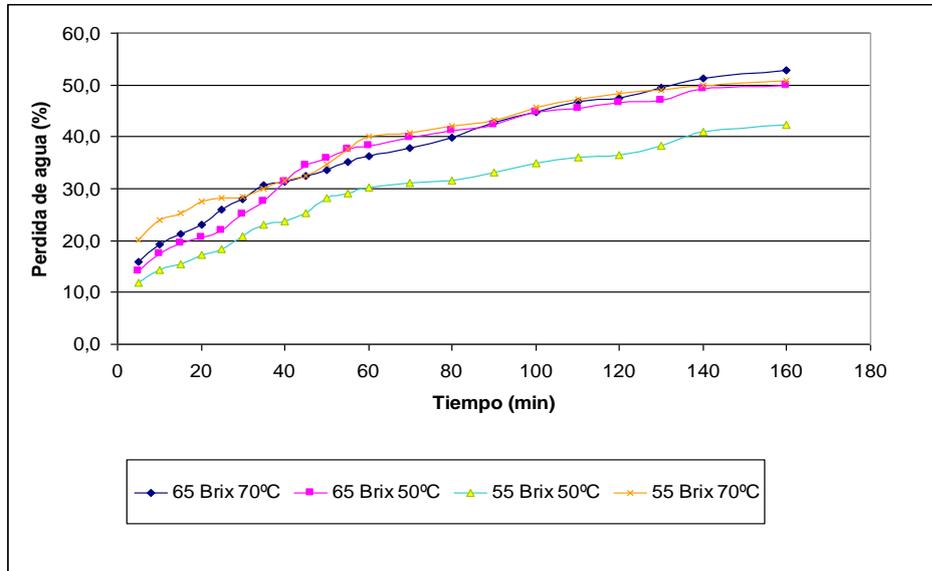
APENDICE H

PERDIDA DE AGUA ESTADO DE MADUREZ 2



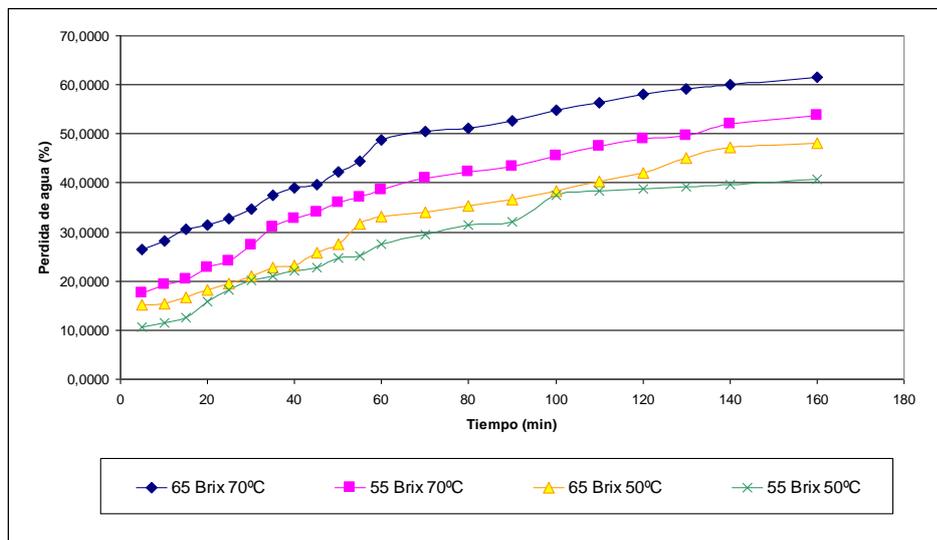
APENDICE I

PERDIDA DE AGUA ESTADO DE MADUREZ 4



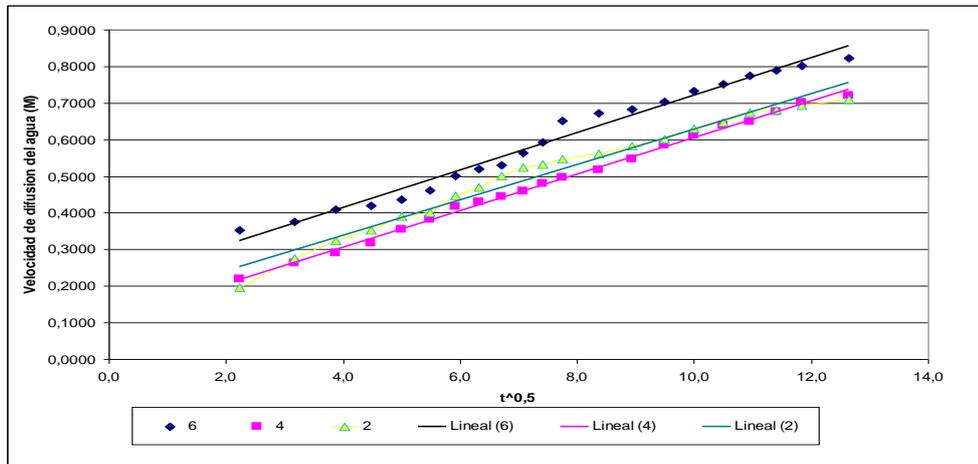
APENDICE J

PERDIDA DE AGUA ESTADO DE MADUREZ 6



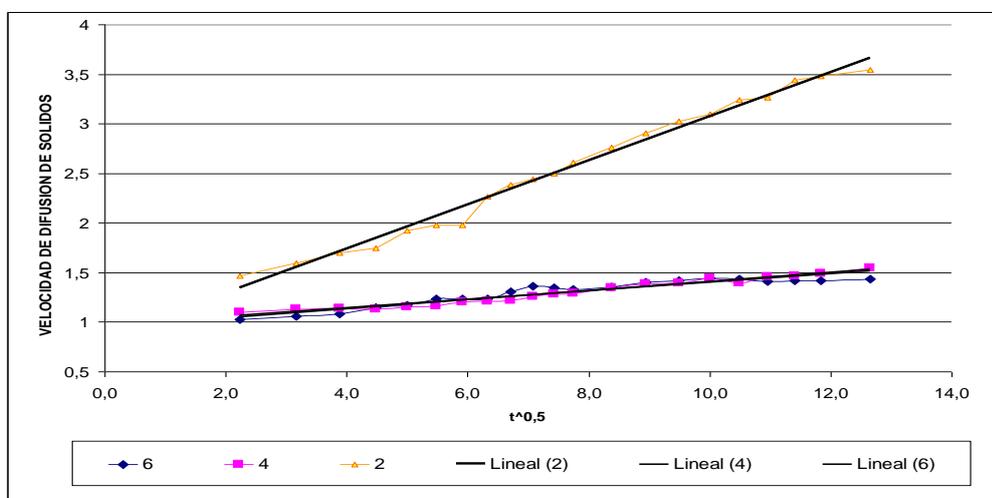
APENDICE K

COEFICIENTES DE DIFUSION DEL AGUA DURANTE LA OSMODESHIDRATACION DEL BANANO CAVENDISH A DIFERENTES ESTADOS DE MADURACION.



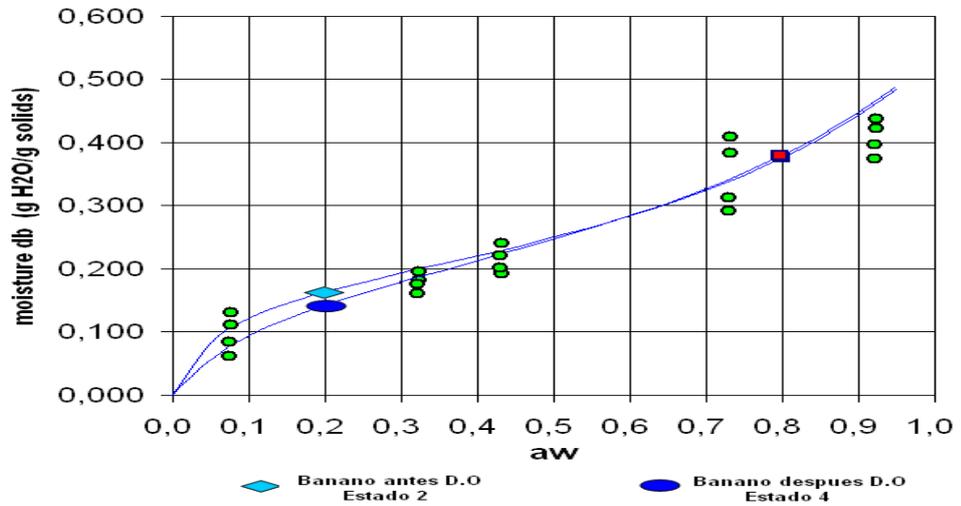
APENDICE L

COEFICIENTES DE DIFUSION DE SÓLIDOS DURANTE LA OSMODESHIDRATACION DEL BANANO CAVENDISH A DIFERENTES ESTADOS DE MADURACION.



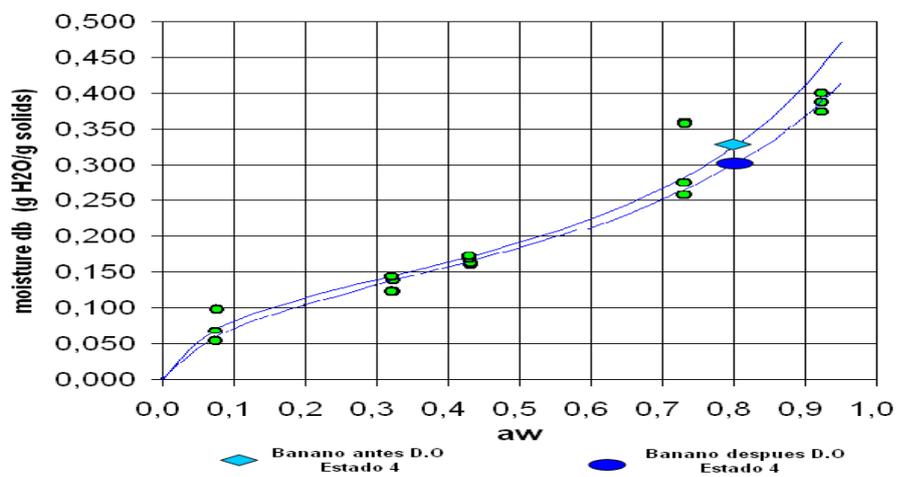
APENDICE M

ISOTERMAS DEL BANANO PARA EL ESTADO DE MADUREZ 2 ANTES Y DESPUES DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA



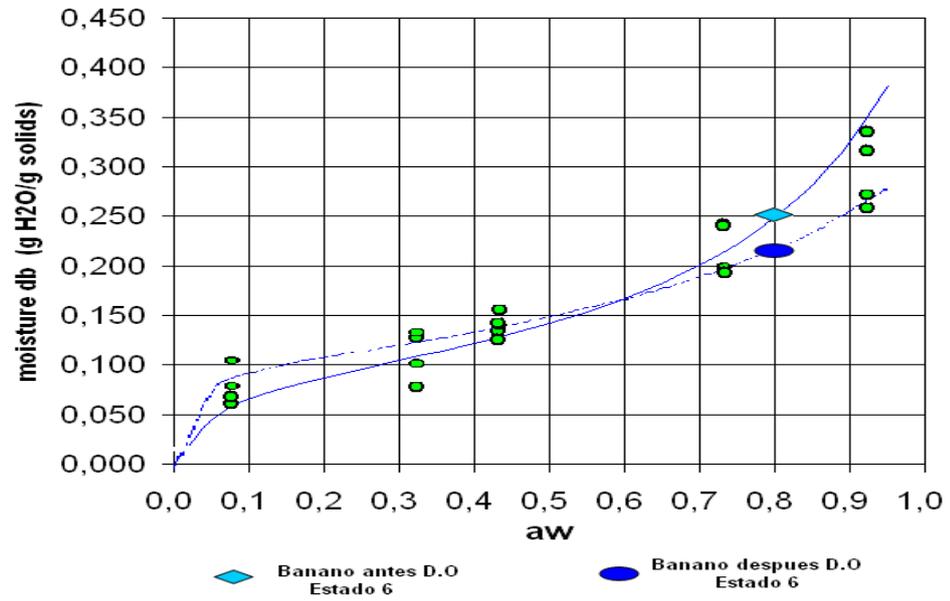
APENDICE N

ISOTERMAS DEL BANANO PARA EL ESTADO DE MADUREZ 4 ANTES Y DESPUES DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA



APENDICE O

ISOTERMAS DEL BANANO PARA EL ESTADO DE MADUREZ 6 ANTES Y DESPUES DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA



APENDICE P

DATOS DURANTE LA DESHIDRATACION OSMOTICA DEL BANANO ESTADO 2

t (min)	PERDIDA DE PESO (g)	PORCENTAJE DE PERDIDA DE PESO	PERDIDA DE AGUA (gr H ₂ O/ gr Fruta)	PORCENTAJE DE PERDIDA DE AGUA	VELOCIDAD DE DIFUSION DE AGUA (M)
0	6,5401	0,000		0	0
5	5,7489	12,098	0,135	13,521	0,196
10	5,4305	16,966	0,190	19,004	0,275
15	5,3380	18,380	0,224	22,383	0,324
20	5,2773	19,309	0,243	24,297	0,352
25	5,1984	20,515	0,270	27,005	0,391
30	5,1674	20,989	0,276	27,644	0,400
35	5,1651	21,024	0,309	30,864	0,447
40	5,0893	22,183	0,325	32,465	0,470
45	4,9265	24,672	0,346	34,568	0,501
50	4,9155	24,841	0,362	36,205	0,524
55	4,9058	24,989	0,368	36,763	0,533
60	4,8720	25,506	0,378	37,801	0,548
70	4,8143	26,388	0,388	38,794	0,562
80	4,7533	27,321	0,402	40,190	0,582
90	4,7426	27,484	0,415	41,519	0,601
100	4,6770	28,487	0,436	43,591	0,631
110	4,6243	29,293	0,447	44,665	0,647
120	4,5723	30,088	0,466	46,607	0,675
130	4,5734	30,071	0,471	47,058	0,682
140	4,5535	30,376	0,479	47,862	0,693
160	4,4822	31,466	0,491	49,051	0,711

APENDICE Q

DATOS DURANTE LA DESHIDRATACION OSMOTICA DEL BANANO ESTADO 4

t (min)	PERDIDA DE PESO (g)	PORCENTAJE PERDIDA DE PESO	PERDIDA DE AGUA (gr H ₂ O/ gr Fruta)	PORCENTAJE PERDIDA DE AGUA	VELOCIDAD DE DIFUSION DE AGUA (M)
0	4,8565	0	0	0	0
5	4,0687	16,22155874	0,1600	15,9956	0,2187
10	4,0035	17,56408936	0,1921	19,2079	0,2626
15	3,8705	20,30268712	0,2121	21,2138	0,2900
20	3,7737	22,2958921	0,2315	23,1451	0,3164
25	3,7411	22,96715742	0,2589	25,8915	0,3540
30	3,6536	24,76886647	0,2789	27,8909	0,3813
35	3,4676	28,59878513	0,3058	30,5833	0,4181
40	3,4366	29,23710491	0,3143	31,4311	0,4297
45	3,3828	30,34489859	0,3252	32,5250	0,4447
50	3,3408	31,20971893	0,3356	33,5602	0,4588
55	3,2740	32,5851951	0,3516	35,1575	0,4807
60	3,1829	34,46103161	0,3629	36,2880	0,4961
70	3,1221	35,71296201	0,3782	37,8207	0,5171
80	3,0494	37,20992484	0,3995	39,9488	0,5462
90	2,9712	38,82013796	0,4276	42,7630	0,5846
100	2,8682	40,9410069	0,4481	44,8070	0,6126
110	2,8316	41,69463605	0,4669	46,6938	0,6384
120	2,8284	41,76052713	0,4750	47,5041	0,6494
130	2,7963	42,42149696	0,4952	49,5238	0,6771
140	2,7608	43,15247606	0,5125	51,2547	0,7007
160	2,6806	44,8038711	0,5273	52,7316	0,7209

APENDICE R

DATOS DURANTE LA DESHIDRATACION OSMOTICA DEL BANANO ESTADO 6

t (min)	PERDIDA DE PESO (g)	PORCENTAJE DE PERDIDA DE PESO	PERDIDA DE AGUA (gr H ₂ O/ gr Fruta)	PORCENTAJE DE PERDIDA DE AGUA	VELOCIDAD DE DIFUSION DE AGUA (M)
0	5,4178	0	0	0,0000	0,0000
5	4,1163	24,02266603	0,2637	26,3735	0,3523
10	4,0912	24,48595371	0,2817	28,1676	0,3762
15	4,0464	25,31285762	0,3063	30,6334	0,4092
20	4,0047	26,08254273	0,3139	31,3948	0,4193
25	3,9603	26,90206357	0,3272	32,7165	0,4370
30	3,9283	27,49270922	0,3462	34,6203	0,4624
35	3,8829	28,33068773	0,3752	37,5208	0,5011
40	3,8151	29,5821182	0,3897	38,9666	0,5205
45	3,8178	29,53228248	0,3966	39,6581	0,5297
50	3,7772	30,28166414	0,4224	42,2373	0,5641
55	3,6575	32,49104803	0,4437	44,3657	0,5926
60	3,5241	34,95330208	0,4873	48,7343	0,6509
70	3,4166	36,93750231	0,5039	50,3886	0,6730
80	3,3839	37,54106833	0,5119	51,1929	0,6838
90	3,3378	38,39196722	0,5275	52,7500	0,7046
100	3,2523	39,97009856	0,5489	54,8916	0,7332
110	3,1654	41,57407066	0,5631	56,3108	0,7521
120	3,0521	43,66532541	0,5804	58,0438	0,7753
130	2,9564	45,43172505	0,5914	59,1407	0,7899
140	2,9328	45,86732622	0,6002	60,0212	0,8017
160	2,8854	46,74222009	0,6161	61,6084	0,8229

APENDICE S

ESPECIFICACIONES EQUIPO PARA DETERMINACION DE POROSIDAD

EQUIPO	ESPECIFICACIONES DE FABRICACION
<i>BOMBA DE VACIO</i>	Trivac Modelo 2A Potencia 10,5 Kw Voltaje: 110 V
<i>VACUOMETRO</i>	Marca Ashcroft Medición: 0-760 mm Hg
<i>TANQUE HERMETICO</i>	Acero al carbono Dimensiones: Altura: 45 cm, Diametro: 30 cm
<i>RECIPIENTE CONTENEDOR DE SOLUCION HIPERTONICA</i>	Acero Inoxidable

BIBLIOGRAFÍA

1. BARBOSA G.; VEGA H., Deshidratación de alimentos, Editorial Acribia. S.A., Zaragoza – España, 2000.
2. CHEFTEL J.; CHEFTEL H, Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos, Segunda Edición. Volumen 1, Editorial Acribia S.A., Zaragoza- España, 1980.
3. CORNEJO FABIOLA, “Modelación matemática de la cinética de deshidratación osmótica de la carga papaya” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000).
4. FITO P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. Universidad Politecnica de Valencia, Departamento de Tecnología de alimentos, Valencia – España, 1994.

5. FITO P.; CHIRALT A.; QUAN X., Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic of fruits. Universidad Politecnica de Valencia. Departamento de tecnologia de alimentos, Valencia- España, 1995.
6. HUAYAMAVE CRISTINA, “Influencia de Presiones de Vacío en la Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica del Mango” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004).
7. KADER A. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. University of California, Department of Plant Sciences, California- USA, 2008.
8. LABUZA, THEODORE P., Moisture sorption: practical aspects of isotherms measurement and use. Published by the association of Cereal Chemists St Paul, Minnesota.
9. LERICI C.; PINNAVAIA G.; Osmotic Dehydration of fruit: influence of osmotic Agents on Drying Behavior and product quality. Journal of Food Science, Volume 50, 1985

10. MARTINEZ N., Termodinámica y Cinética de sistemas alimento entorno, Universidad Politecnica de Valencia. Departamento de Tecnología en Alimentos, Valencia – España, 1998
11. Norma del codex para el banano Codex stan 205-1997, emd. 1-2005
12. PEARLLY S. YAN., Chemistry and Physics of Water. Science Technology System, Sacramento- USA, 2000.
13. RICHARDSON T., The manufacturing confectioner. Presented at the NCA/ AACT. Seminar on ERH and water activity, USA, 1986.
14. SHARMA S.; MULVANEY S.; RIZVI S., Ingenieria de Alimentos, Operaciones Unitarias y practicas de laboratorio, Editorial Limusa Wiley, Capitulo14, 2003.
15. VSTRAUSS V.; PORCJA R.; CHEN S., Volume Effects of Starch-Water Interactions Department of Chemistry, Rutgers, The State University of New jersey, New Brunswick, NJ 08903

16. WILLS R.; LEE T., Fisiología y Manipulación de frutas y hortalizas post-recolección, Segunda edición, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1999.
17. ZHANG P.; WHISTLER R.; HAMAKER R., Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. Whistler Center for Carbohydrate Research and Department of Food Science, Purdue University , USA, 2005.
18. <http://bicol.da.gov.ph/Opportunities/banana%20profile/topic1.html>
19. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/santacruz_l_ya/capitulo5.pdf
20. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/garcia_t_r/capitulo6.pdf
21. <http://www.dietas.com/enciclopedia/platano.asp>
22. <http://fcial.uta.edu.ec/archivos/hojacaduca.pdf>
23. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877401000796>

24. http://www.medvet.una.ac.cr/carrera/mva505_Practica5.pdf

25. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/724/72450405.pdf>

26. <http://www.sica.gov.ec/cadenas/banano/docs/mercado%20mundial.pdf>

27. [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/
obfrudes/p3.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm)